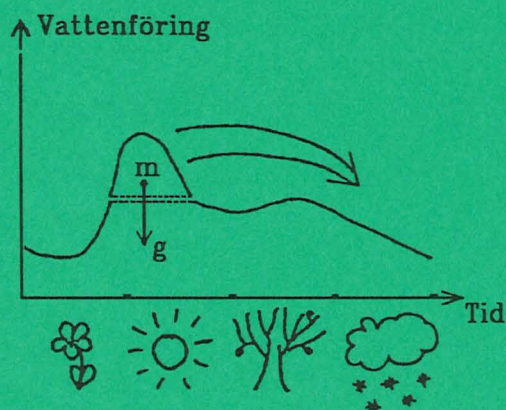




**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

REKONSTRUKTION AV NATURLIG VATTENFÖRING I ÖSTERDALÄLVEN OCH VÄRDERING AV REGLERINGSNYTTA

Charlotta Jansson



Examensarbete

Handledare: Anders Heldemar

**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Avdelningsmeddelande 93:1
Communications**

Uppsala 1993

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--93/1--SE

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

Distribution:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
Box 7014
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 69, 67 11 81

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics
P.O. Box 7014
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 69, +46-(18) 67 11 81

FÖRORD

Detta examensarbete har genomförts vid Dalälvens Vattenregleringsföretag (DVF) i Borlänge under sommaren 1992. Arbetet har ägnats åt att studera naturlig och reglerad vattenföring samt regleringsnytta i Österdalälven. Ett stort tack riktas till min handledare Anders Heldemar för visat intresse och all hjälp under arbetets gång. Tack också till de på Dalälvens Vattenregleringsföretag.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---|----|
| 1. INLEDNING | 7 |
| 1.1. Bakgrund | 7 |
| 1.2. Syfte | 9 |
| 1.3. Avgränsning | 9 |
| 2. OMRÅDESBESKRIVNING | 9 |
| 2.1. Siljan | 10 |
| 2.2. Trängsletsjön | 11 |
| 2.3. Skattungens-Oresjön | 11 |
| 2.4. Vässinjärvi | 12 |
| 3. METODBESKRIVNING | 12 |
| 3.1. Kontinuitetssambandet | 13 |
| 3.2. Lake-routing | 13 |
| 3.3. Utförande | 14 |
| 4. RESULTAT | 15 |
| 4.1. Oreglerad och reglerad vattenföring i Gråda | 15 |
| 4.2. Oreglerad och reglerad vattenföring i Skattungbyn (Oreälven) | 17 |
| 4.3. Före och efter Trängsletsjön och Vässinjärvi | 18 |
| 4.4. Hög- och lågvattenföring i Gråda | 19 |
| 5. REGLERINGSNYTTA | 19 |
| 5.1. Utförande | 20 |
| 5.2. Regleringsvinstresultat för Österdalälven och dess delsträckor | 22 |
| 5.3. Regleringsvinst årsvis för sträckan Gråda till havet | 22 |
| 6. DISKUSSION | 25 |
| 6.1. Felkällor och förenklingar | 25 |
| 6.2. Framtida utbyggnadsplaner | 26 |
| 6.3. Allmänt | 26 |
| 7. SAMMANFATTNING | 27 |
| 8. SUMMARY | 28 |
| 9. FÖRKLARINGAR TILL BEGREPP | 29 |
| 10. REFERENSER | 30 |

| | |
|--|----|
| Bilaga I. Magasins- och avbördningskurvor för Siljan och Skattungen-Oresjön före reglering | 31 |
| Bilaga II. Dataprogram för beräkning av oreglerad och reglerad vattenföring | 33 |
| Bilaga III. Reglerad och oreglerad vattenföring i Österdalälven (Gråda) 1975-91 | 36 |
| Bilaga IV. Nederbördstabell för Dalälvsområdet | 42 |
| Bilaga V. Regleringsvinstresultat för Österdalälven och dess delsträckor | 44 |

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund

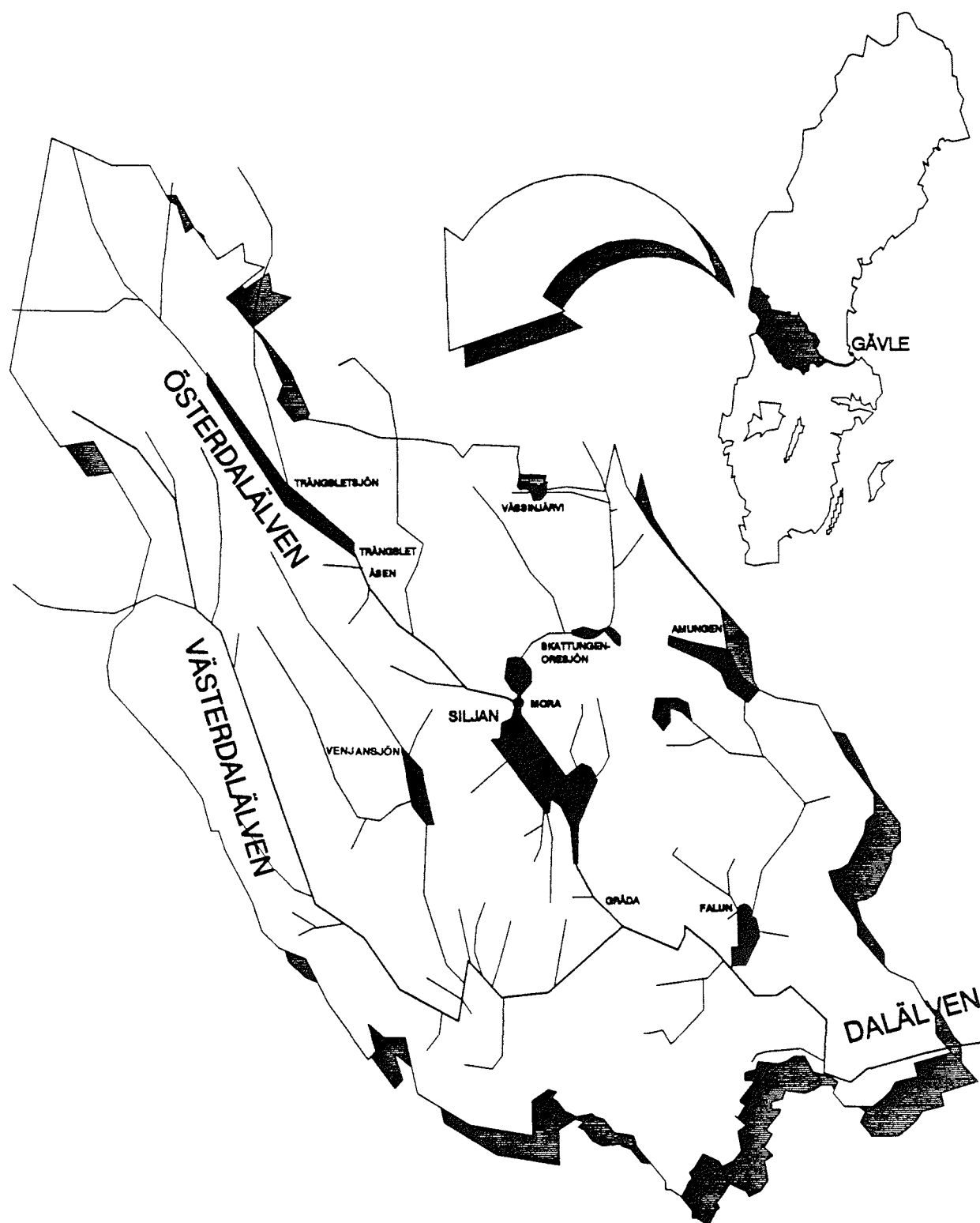
Människan har sedan långt tillbaka i tiden utnyttjat vattnet som kraftkälla. Det började med kvarndrift och som transportmedel för virke. För att mer effektivt kunna utnyttja vattnet började man tidigt att reglera sjöar och vattendrag. Det äldsta sjöregleringsföretaget av större omfattning i landet genomfördes vid slutet av 1400-talet i sjösystemet ovanför Falu gruva i Dalarna, men redan på medeltiden skedde reglering av sjöar och vattendrag. Till en början utgjordes de bara av dämningar i små vattendrag som utfördes för att underlätta kvarndrift och senare mer genomgripande åtgärder för drift av industriföretag som gruvor, järnbruk och sågverk. På 1870-talet byggdes en damm över Dalälven vid Domnarvet i Borlänge för att utnyttja det strömmande vattnet som drivkälla till en såg. Det var då det största vattendrivna sågverket i landet. Det fanns också ett stort antal flottningsdammar, framförallt i Dalälvsområdets norra delar. En undersökning i början av 1920-talet säger att det då fanns 301 flottningsdammar i detta område. Syftet med dammarna var att samla upp vårflödena och därigenom underlätta flottningen vid de svårare passagerna. Betydande industri och därmed ökande bosättning utmed Dalälven gjorde att det blev naturligt att bygga kraftverk utmed älven för utvinning av energi. En av de första vattenkraftstationerna i landet sattes i drift 1878 vid Domnarvet. Ytterligare stationer byggda på 1800-talet är de i Avesta, Näs, Eldforsen och Söderfors (Rydberg, 1966). I början av 1900-talet rådde brist på elektrisk energi, kraftverken hade förhållandevis stor kapacitet, men problemet var att vintervattenföringen var så låg att de inte kunde utnyttjas maximalt. Man blev då intresserad av att få till stånd mer omfattande sjöregleringar. Vårflodernas stora vattenföring skulle komma att utnyttjas effektivare genom att magasinera vattnet till vinterhalvåret då behovet är större (Bjernulf, 1989).

De alltmer omfattande regleringarna och det stora antalet intressenter i Dalälven gjorde att ett behov av planmässig lösning av regleringsfrågorna uppstod. Dalälvens Vattenregleringsföretag (DVF) bildades därför 1916 (men då under ett annat namn) för att sköta regleringen inom Dalälvens flodområde. De större sjöar som ingår i detta område är Siljan, Trängsletsjön, Vässinjärvi, Skattungen-Oresjön, Venjansjön och Amungen. Hur regleringarna får bedrivas i sjöarna är noga föreskrivet i den s.k. Vattendomen. Särskilda domstolar har efter noggrann prövning angett dämning- och sänkningsgränser och minsta tillåtna tappning etc. I flera vattendomar finns även angivet storleken på olika kompensationsåtgärder, då den reglerade vattenföringen har försämrat förhållandena för vandringsfisk i vattendragen. Dessa åtgärder svarar idag för merparten av DVFs årskostnader (Dalälvens Vattenreglerings företag, 1960-1991).

Dalälvens flodområde (fig. 1), som är föremål för denna uppsats, har ett källområde som i princip överensstämmer med Kopparbergslän. Dalälven mynnar i Gävlebukten, ca 15 km söder om Gävle. Området kan delas in i tre huvuddelar: Västerdalälven, Österdalälven och nedströms älvarnas förening i Djurås, Dalälven.

I Sverige var den totala energianvändningen 1991 ca 375 TWh av el, olja, kol mm. Elproduktionen var samma år ca 143 TWh, varav 51 % utgjordes av kärnkraft, 44 % av vattenkraft och fossilkraft om 5 %. Medelårsproduktionen i Dalälven är ungefär 4 100 GWh, vilket är knappt 7 % av landets vattenkraftproduktion.

Dalälven är den femte största producenten av vattenkraft bland våra älvar. Störst är Lule älv med en produktion av ca 13 600 GWh/år (Hansson, 1992; Svenska Kraftverksföreningen, 1992).



Figur 1. Dalälvvssystemet

1.2. Syfte

Det har alltid funnits ett intresse av att studera hur regleringarna av våra sjöar påverkar vattenföringssituationen. Framförallt vid flöden och torrperioder är intresset stort att undersöka sjöregleringarnas inverkan. Det uppstår ofta diskussioner vid Extremsituationer huruvida regleringarna förvärrar eller förbättrar förhållandena i våra sjöar och vattendrag, det är då av värde att studera hur det varit utan regleringarna. För- och nackdelar kan kartläggas, vilket kan ligga till grund för förbättringar. Man jämför då vattenföringen före (naturlig eller oreglerad vattenföring) med den efter reglering (reglerad vattenföring). I de flesta fall åligger det Regleringsföretagen att redovisa detta, men i bl.a. Dalälven är detta ej föreskrivet i någon vattendom. Inom DVF genomförs dessa beräkningar endast då man anser det vara intressant, det sker således inte rutinmässigt. Syftet med detta examensarbete är att arbeta fram en PC-baserad datamodell som utför beräkningen av den naturliga (oreglerade) vattenföringen samt att studera effekterna av regleringarna i Österdalälven. Uppsatsen innefattar dessutom en ekonomisk värdering av regleringsnyttan.

1.3. Avgränsning

Ungefär 2/3 av magasinvolymen i Dalälvens flodområde finns i Österdalälvsområdet och har därmed stor betydelse för förhållandena nedströms. Det faktum att Västerdalälven inte har byggts ut och att de stora viktiga magasinerna är belägna i Österdalälvsområdet gör att dess betydelse för kraftproduktionen är extra stor. Med tanke på detta samt att arbetets omfattning skulle bli av rimlig storlek har datamodellen och de ekonomiska beräkningarna endast utförts för Österdalälven. De sjöar som behandlas är: Siljan, Trängsletsjön, Vässinjärvi och Skattungen-Oresjön. Trängsletsjön och Vässinjärvi är helt konstgjorda sjöar, byggda 1955-60 respektive 1964-67 (Rydberg, 1966). Utöver dessa ingår 33 mindre sjöar i Österdalälvens regleringssystem.

2. OMRÅDESBESKRIVNING

Dalälvens avrinningsområde är totalt 29 040 km² varav 8 630 km² är Västerdalälvsområdet och 12 281 km² Österdalälven. Av denna areal består 6,2 % av sjöar (Rydberg, 1966). Den övervägande delen av sjöarna ansluter till Österdalälven. Västerdalälven är oreglerad så till vida att ingen sjöreglering sker i huvudfåran utan bara i bivattendragen. Magasineringskapaciteten är således mycket låg i denna älv. Som ett mått på detta brukar man använda "regleringsgrad (%)". Västerdalälvens regleringsgrad är endast 10 % medan den hos Österdalälven är 40 %. Vid Dalälvens mynning är regleringsgraden 26 % och medelvattenföringen 324 m³/s, vilket kan jämföras med Luleälvens 72 % respektive 475 m³/s. Ett magasin som har 100 % i regleringsgrad är Amungen, det innebär att ett års normaltillrinning räcker för att fylla hela regleringsmagasinet. För Siljan är motsvarande uppgift 14 %, medan den för de konstgjorda sjöarna Trängslet och Vässinjärvi är 42 respektive 55 %. Regleringshöjden är hög i de två sistnämnda sjöarna, nämligen 34,95 och 16,50 m, medan den är endast 1,88 m för Siljan och 2,70 m för Skattungen-Oresjön (tabell 1) (Rydberg, 1966).

Tabell 1. Tekniska data om de största sjöarna i Österdalälvsområdet (Dalälvens Vattenregleringsföretag, 1960-1991; Rydberg, 1966)

| | Siljan | Trängslet | Skattungen- Oresjön | Vässinjärvi |
|---|---------|-----------|------------------------|-------------|
| Sjöyta (km ²) | 350 | 25 | 31 | 4 |
| Magasinsvolym (Mm ³) | 658 | 880 | 83 | 70 |
| totalt uppströms | 1657 | 890 | 177 | |
| Avrinningsområde (km ²) | 12 281 | 4532 | 1846 | 340 |
| Regleringsgrad (%) | 14 | 42 | 14 | 55 |
| totalt uppströms | 35 | 42 | 30 | |
| Dämningsgräns (m ö h) | +161,78 | +422,95 | +200,15 | +424,50 |
| Sänkningsgräns (m ö h) | +159,90 | +388,00 | +197,45 | +408,00 |
| Regleringshöjd (m) | 1,88 | 34,95 | 2,70 | 16,50 |
| Vattenföring (m ³ /s), Medel | 142 | 63 | 20 | 4 |
| Max | 570 | 400 | 290 | 150 |

2.1. Siljan

Siljan är det 14:e största regleringsmagasinet i Sverige med sina 658 milj. m³. Vänern är det största med 9 400 milj. m³. Reglering har skett av Siljan sedan 1926 då en damm byggdes drygt två mil nedströms sjöns utlopp vid Leksand. År 1950 flyttades regleringen från denna damm till dammen vid Gråda kraftverk som ligger straxt söder om den förra. Kraftverket togs i drift 1951, och har en max. effekt på 24 MW och en fallhöjd av 11 m. Utbyggnadsvattenföringen är vid kraftstationen i Gråda 280 m³/s. Utbyggd fallhöjd från Gråda till havet är 149 m (Rydberg, 1966).

Vattendom

I Österbygdens vattendomstols dom finns de vattenhushållningsbestämmelser som gäller vid reglering av Siljan (Stockholms tingsrätt, a). Nedan redovisas delar av denna.

- * Vattenståndet i Siljan får inte sänkas lägre än +159,90 m eller uppdämmas högre än +161,78 m.
- * Vid Gråda skall alltid framsläppas minst 25 m³/s.
- * Vid vattenstånd över nivån +161,90 m skall tappningen vid Gråda följa en framtagen tabell, som i princip överensstämmer med den naturliga avbördningskurvan.

2.2. Trängsletsjön

Tankarna på att bygga ut fallsträckan i Österdalälven mellan Särnasjön och Älvdalen framkom första gången på 1920-talet, men planeringsarbetet satte fart på allvar först 1944. I april 1954 godkände riksdagen Trängsletprojektet. Genom uppdamning av älven kom ett sjösystem att skapas innefattande Särnasjön och nedströms denna, en ny sjö vid namn Trängsletsjön (förkortas ofta Trängslet), med en sammanlagd längd av nära 70 km och en medelbredd av 1 km. Sjön som bildades rymmer omkring 880 milj. m³ vatten för regleringsändamål. Sjösystemet används till att samla sommarhalvårets vatten för att sedan främst kunna utnyttja det under vinterhalvåret. Dammen, som är Sveriges högsta, byggdes 1955-60 och förutsättningar för elproduktion skapades samt att effektivt kunna styra vattenflödet i Österdalälven. Dammbyggnaden har en krönlängd av 890 m och en basbredd av 550 m. Dammens höjd är 120 m. Kraftstationen vid Trängslet har en max. fallhöjd på 142 m och en utbyggnadsvattenförlösning på 280 m³/s (Rydberg, 1966). Tre turbiner som i sin tur driver generatorerna ger en nettoeffekt på 318 MW med en normal årsproduktion på 670 GWh. Trängslet är därmed den åttonde största vattenkraftstationen i landet. Den energi som produceras i Trängslet motsvarar elförbrukningen hos 26 000 st eluppvärmda villor. Kraftstationens drift är främst förlagd till tider med stort kraftbehov, d.v.s. vinterhalvårets vardagar. Nedströms Trängslet finns fyra kraftstationer till i Österdalälven: Åsen, Väsa, Blyberg och Spjutmo kraftstationer, med en sammanlagd fallhöjd på 69 m.

Vattendom

Tappningen från Trängslet får momentant ändras mellan 0 och 280 m³/s. Det utjämningsmagasin som finns straxt nedströms Trängslet vid Åsens kraftstation ska garantera att vattenförlösningen i övre Österdalälven aldrig understiger 21 m³/s (Stockholms tingsrätt, c).

2.3. Skattungen-Oresjön

Sjöregleringen av Skattungen-Oresjön i Oreälven skedde åren 1921-24 och kraftstationen i Skattungbyn togs i drift 1930. Utbyggnadsvattenförlösningen är 27 m³/s och den totala fallhöjden för de tre kraftstationerna på sträckan mellan Skattungen-Oresjön och Orsasjön är 24 m. Max. effekten är för dessa stationer tillsammans ca 8 MW (Rydberg, 1966).

Vattendom

Vattendomstolens dom från 1957 och framåt styr regleringen för Skattungen-Oresjön (Stockholms tingsrätt, b). Dämningsgränsen varierar för denna sjö beroende på årstiden. Från 1 oktober till 30 april är den +200,15 m och övrig tid +199,80 m. Från vårflödet t.o.m. oktober får inte tappningen understiga 8 m³/s och under övriga tiden på året får den lägst vara 6 m³/s. Vattenståndet får inte hållas högre än +198,95 m under mars månad till vårflodens början och inte lägre än denna nivå från vårflödet till och med oktober.

2.4. Vässinjärvi

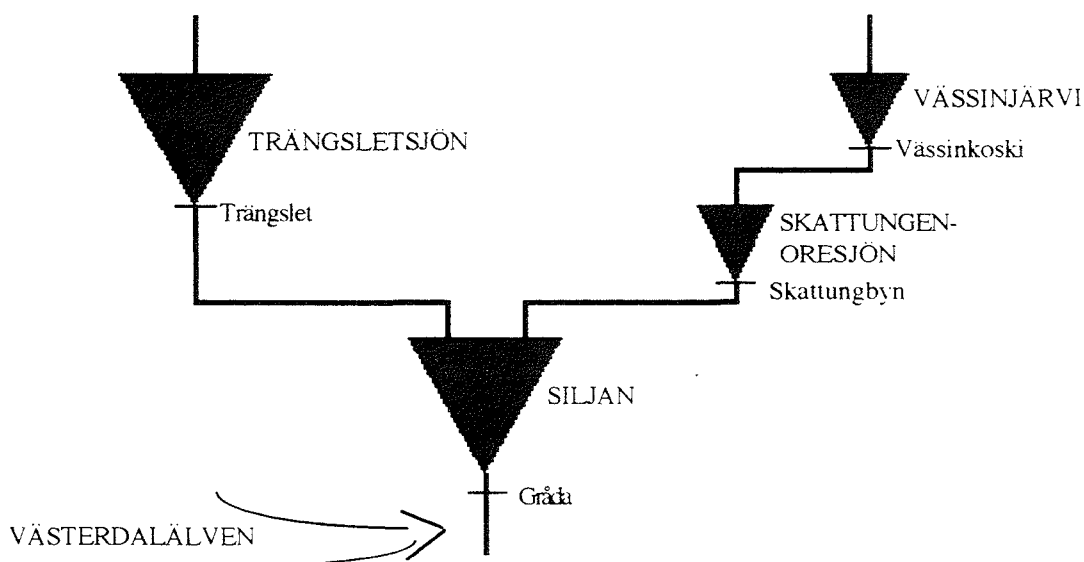
Vässinjärvi är en helt konstgjord sjö i nordöstra Dalarna, uppströms Skattungen-Oresjön. Genom uppdämning av Oreälven skapades 1967 en sjö med magasinsvolymen 70 milj. m³. Samtidigt byggdes kraftstationerna Vässinkoski och Noppikoski med en sammanlagd fallhöjd på 161,5 m och en max. effekt på ca 10 MW vardera (Rydberg, 1966).

Vattendom

Enligt vattendom får tappningen variera allt från noll- tappning och uppåt, så länge dämnings- och sänkingsgränserna respekteras (Stockholms tingsrätt, d).

3. METODBESKRIVNING

Datormodellens uppgift är att med ett antal tillgängliga uppgifter, som behandlas senare, beräkna den oreglerade (naturliga) vattenföringen i Österdalälven. Med oreglerad vattenföring menas helt enkelt den vattenföring som skulle råda i Österdalälven om inga regleringar fanns. För det aktuella området är det således bara regleringsmagasinen Siljan och Skattungen-Oresjön som ur denna synvinkel påverkar vattenföringen i systemet (fig. 2). Där Trängsletsjön och Vässinjärvi ligger fanns tidigare bara en smal älvfåra. Beräkningarna i modellen är utförda i två punkter, dels för Gråda nedströms Siljan och dels för Skattungbyn vid Skattungen-Oresjöns utlopp.



Figur 2. Österdalälvensflodområde i översikt.

3.1. Kontinuitetssambandet

Flödet till och från en sjö kan enkelt beskrivas med ett kontinuitetssamband. Detta samband säger att flödet till ett system minus flödet ut från systemet är lika med ändringen i systemet. Detta skrivs som:

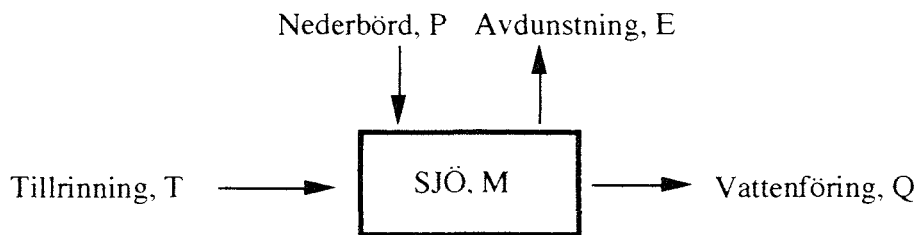
$$T - Q = \Delta M \quad (1)$$

där T = tillrinning (in)

Q = vattenföring (ut)

ΔM = ändring i magasinens volym

Detta gäller dock endast om nederbörden P och avdunstningen E över sjön kan anses ta ut varandra (fig. 3). Nedan görs en kontrollräkning för att klargöra huruvida detta antagande är godtagbart, d.v.s. att försumma skillnaden mellan nederbörd och avdunstning över magasinerna. Hos DVF registreras Q och M rutinmässigt, varefter T beräknas. Q utgör i det reglerade fallet det man normalt benämner "tappning".



Figur 3. Schematisk bild över händelseförloppet i en sjö.

Beräkning av skillnaden mellan nederbörd och avdunstning över magasinerna.

Österdalälvens avrinningsområde är 12 281 km². Av detta är 5,2 % sjöyta, d.v.s. 639 km² (Rydberg, 1966). I detta område faller 649 mm nederbörd om året, vilket ger 414,7 milj. m³ nederbörd över aktuell sjöyta. Avdunstningen över densamma är ca 450 mm (Jutman, 1975) och motsvarar 287,5 milj. m³. Skillnaden mellan nederbörd och avdunstning blir då 127,2 milj. m³. Om man slår ut detta över hela avrinningsområdet motsvarar det ett tillskott på 10 mm, vilket då kan anses vara godtagbart att försumma.

3.2. Lake-routing

Med hjälp av kontinuitetssambandet kan naturlig vattenföring beräknas genom att känna tillrinning och ha tillgång till den aktuella sjöns magasin- respektive naturliga avbördningskurvor.

Metoden bygger på att beräkna oreglerad vattenföring vid tiden t och låta detta värde gälla under tiden Δt . Kontinuitetssambandet ger ett nytt värde på M efter tiden $t + \Delta t$. Med detta magasinläge fås ett nytt värde på Q som får gälla under

nästa tidsperiod o.s.v. Tidssteget (Δt) har satts till 4 timmar för att effekterna av ändrat magasinläge skall fångas upp vid snabba tillrinningsändringar. Medelvärdet på Q från 6 st 4-timmars perioder bildar dygnsvärdet på den oreglerade vattenföringen. På motsvarande sätt bildar 7 st dygnsvärden veckomedelvärdet. Det är detta veckomedelvärde på oreglerad vattenföring som sedan jämförs med den reglerade vattenföringen som förekommit i Österdalälven.

Beräkning av magasinvolymen för tiden $t + 4$ timmar då uppgifter på tillrinning, vattenföring och magasinvolym från tiden t är tillgängliga sker enligt kontinuitetssambandet på följande sätt:

$$T(t) - Q(t) + M(t) = M(t + \Delta t) \quad (2)$$

där $T(t)$ = Tillrinning tiden t

$Q(t)$ = Oreglerad (naturlig) vattenföring tiden t

$M(t)$ = Magasinvolym tiden t

$M(t + \Delta t)$ = Magasinvolym tiden $t + 4$ timmar

Dataprogrammet är skrivet som ett s.k. "lake-routing" program, vilket innebär att beräkningarna sker i loopar som går runt ett stort antal varv beroende på hur lång tidsserie som skall bearbetas. Beräkningarna utgår hela tiden från värdena från föregående beräknings resultat. För att få en tillräckligt god överensstämmelse med verkligheten har tidssteget som tidigare nämnts satts till 4-timmars intervaller. Om tidssteget satts till en vecka d.v.s. att vattenföringen antas vara oförändrad i veckolånga perioder hade felet blivit alldeles för stort. Ett tidssteg på 4-timmar kan anses vara en godkänd generalisering av verkligheten och felet är därmed försumbart.

3.3. Utförande

För att beräkna den oreglerade vattenföringen krävs uppgifter på tillrinning samt sambanden för avbördning och magasinvolym före regleringarnas början. Uppgifter på tillrinningar finns för de flesta sjöar från 1950 och framåt och är lagrade i datafiler som medelvärden per vecka. Med hjälp av tabeller har magasin- och avbördningskurvor tagits fram som gäller för Siljan och Skattung-Oresjön då Österdalälven ännu var oreglerad (bilaga I). För att dessa kurvor sedan skulle kunna användas i datamodellen har de översatts till ekvationer. I datamodellen har den oreglerade vattenföringen beräknats i medeltal per vecka åren 1950 till 1991 dels för Gråda dels för Skattungbyn. Trängslet var färdigställt 1960 därför är åren 1950-60 speciellt intressanta för att kunna studera effekterna av ett så omfattande ingrepp. Veckovärden på tillrinning, oreglerad och reglerad vattenföring har sparats årsvis för vidare bearbetning.

Nedan följer en förenklad beskrivning över arbetsgången i programmet (bilaga II).

1. Startvärde på vattenstånd anges. Detta är nödvändigt för att kunna starta beräkningarna. Vattenståndet översätts via magasin- och avbördnings-ekvationerna till ett startvärde på magasinvolym och naturlig vattenföring.

2. Beräkning av oreglerad vattenföring för varje period. Tidssteget är 4 timmar. Beräkningarna utgår hela tiden från värdena från föregående period, d.v.s. första periodens värden beräknas med hjälp av startvärdena och andra periodens värden med den första periodens o.s.v. Beräkningarna sker som nedan beskrivet enligt kontinuitetssambandet (ekv. 2). "O" står för oreglerad, "R" för reglerad, "T" för tillrinning, "Q" för vattenföring och "M" för magasinvolym. Skattungbyn förkortas "Sbyn".

a) Skattungbyn (Skattungen-Oresjön)

$$T \text{ Sbyn } (t) - Q \text{ Sbyn } (t) + M \text{ Sbyn } (t) = M \text{ Sbyn } (t+\Delta t)$$

Magasinsvolymen översätts sedan till oreglerad vattenföring via avbördningsekvationerna för Skattungbyn.

b) Gråda (Siljan)

Beräkningarna för Gråda sker i två steg. Först beräknas den s.k. oreglerade tillrinningen för Gråda med hjälp av den i a) framräknade oreglerade vattenföringen från Skattungbyn. I det andra steget sker beräkningen av den oreglerade vattenföringen för Gråda precis som för Skattungbyn.

$$R \text{ T Gråda } (t) - T \text{ Sbyn } (t) + O \text{ Q Sbyn } = O \text{ T Gråda}$$

$$O \text{ T Gråda } (t) - Q \text{ Gråda } (t) + M \text{ Gråda } (t) = M \text{ Gråda } (t+\Delta t)$$

Magasinsvolymen översätts sedan till oreglerad vattenföring med hjälp av avbördningsekvationerna för Gråda.

3. Resultaten från beräkningarna, d.v.s. oreglerad vattenföring för Gråda och Skattungbyn samt tillrinning och reglerad vattenföring lagras i filer för varje år som veckomedelvärden.

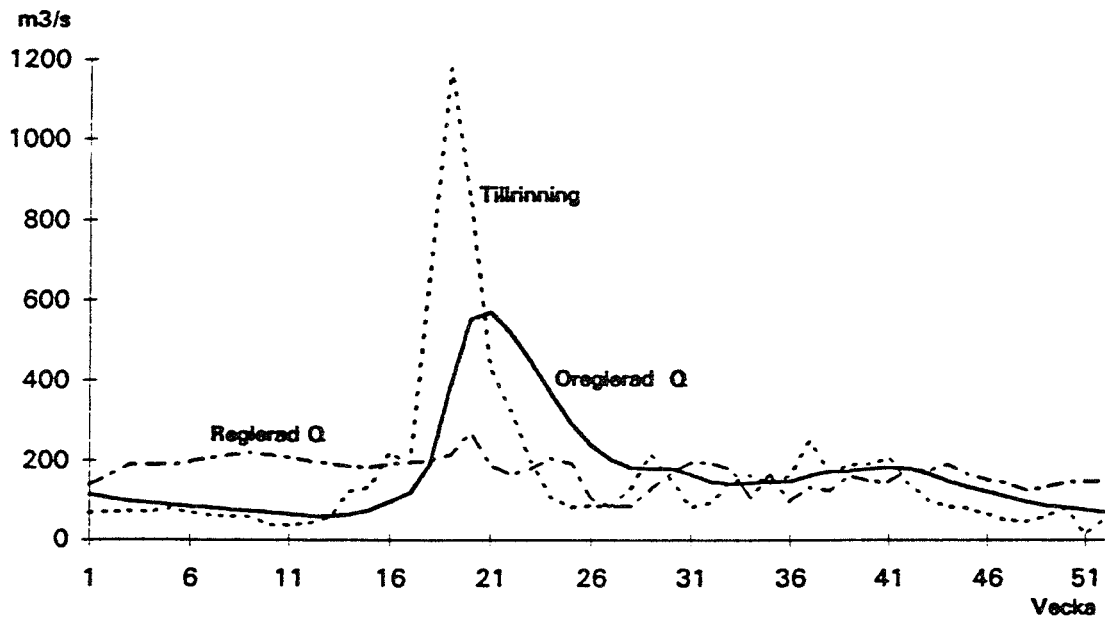
4. RESULTAT

Resultaten från datamodellen (bilaga III) gör det möjligt att studera hur vattenregleringen påverkar vattenföringen. Genom att jämföra den reglerade vattenföringen med den oreglerade kan man få förståelse för regleringarnas inverkan på vattenföringen i Österdalälven.

4.1. Oreglerad och reglerad vattenföring i Gråda

Året 1988 var ur nederbördssynpunkt ett normalt år med en total nederbörd på 674 mm i Dalälvsområdet. Att jämföra med 649 mm som är årsmedelvärde för åren 1919-1991 (bilaga IV). Då man studerar vattenföringen i det oreglerade och det reglerade fallet finner man att de skiljer sig åt relativt mycket (fig. 4). Den oreglerade vattenföringen var låg under vinterhalvåret och nådde sitt minimivärde i slutet av mars. I slutet av april kom vårfloden som sträckte sig ända till slutet av maj. Vårfloden tilltog mycket snabbt medan den avtog ganska långsamt, vilket är den naturliga inverkan av den stora sjön Siljan. Vattenföringen var vid vårfloden flera gånger högre än den under vinterhalvåret, den varierade således mycket under säsongen. Den reglerade vattenföringen är oftast mycket jämnare

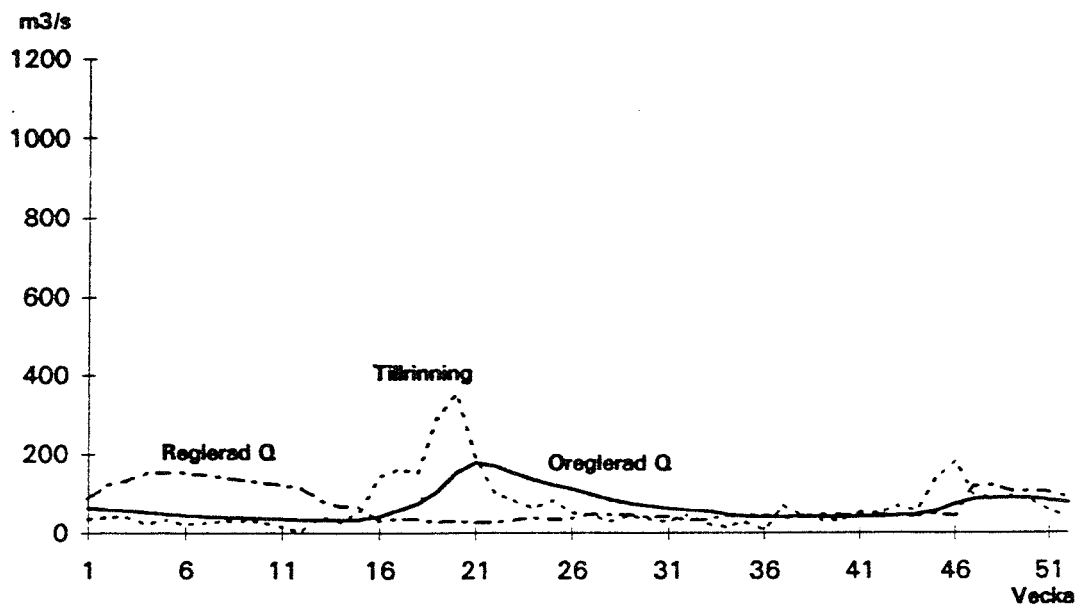
under året och var som högst detta år ca 270 m³/s mot ca 580 m³/s i det oreglerade fallet. Vattenföringen är oftast vid reglering förhållandevis minst där den utan reglering är som störst, det vill säga under sommarmånaderna. En reglering innebär att man "flyttar" vatten från en tidpunkt till en annan. Som tidigare sagts är behovet av kraft mycket större under vintern, naturligt nog. Det är dock under denna tid som vattenföringen naturligt sett är som minst. Det betyder att med en reglering kan detta vatten överföras till en period med större behov, vintern. Strävan är därför att spara så mycket som möjligt av vårflodens vatten till årets kalla månader.



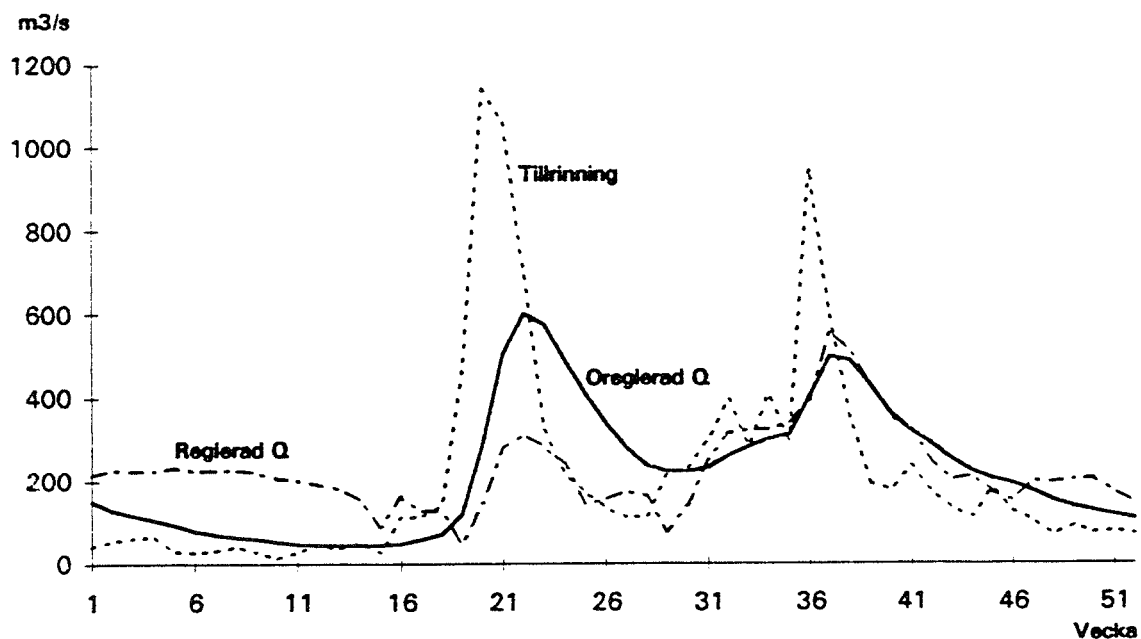
Figur 4. Tillrinning samt oreglerad och reglerad vattenföring (Q) i Gråda 1988.

Två extrema år var 1976 och 1985 med 510 mm respektive 831 mm nederbörd. Det senarre året kännetecknas av kraftiga floder både vår och höst. Detta avspeglas i vattenföringarna för de två åren (fig. 5 & 6). Effekterna av regleringarna märks mycket tydligt 1976, med dess låga sommarvattenföring och relativt sett höga vattenföring under vintern. Vattenföringarna för det torra året 1976 var mycket mindre än de för 1985. Den reglerade vattenföringen låg en tid på sommaren under 50 m³/s 1976 och dess max. värde var ca 150 m³/s i början av året. Liksom 1988 nåddes den högsta vattenföringen i det oreglerade fallet i maj om än så mycket lägre.

Vid reglering av sjöar försöker man fylla magasinen så mycket som möjligt på hösten för att säkra vinterns behov. Det kan dock vara en risk med detta om man drabbas av oväntat höga höst tillrinningar. Detta skedde hösten 1985. Höstfloden blev nästan lika stor som vårfloden, vilket resulterade i höga vattenföringar även i det reglerade fallet. Vid det oreglerade förhållandet var magasinen inte lika fulla vid höstflodens start och det gjorde att vattenföringen då inte blev riktigt lika hög. Värt att notera är att den reglerade vattenföringen nästan nådde 600 m³/s.



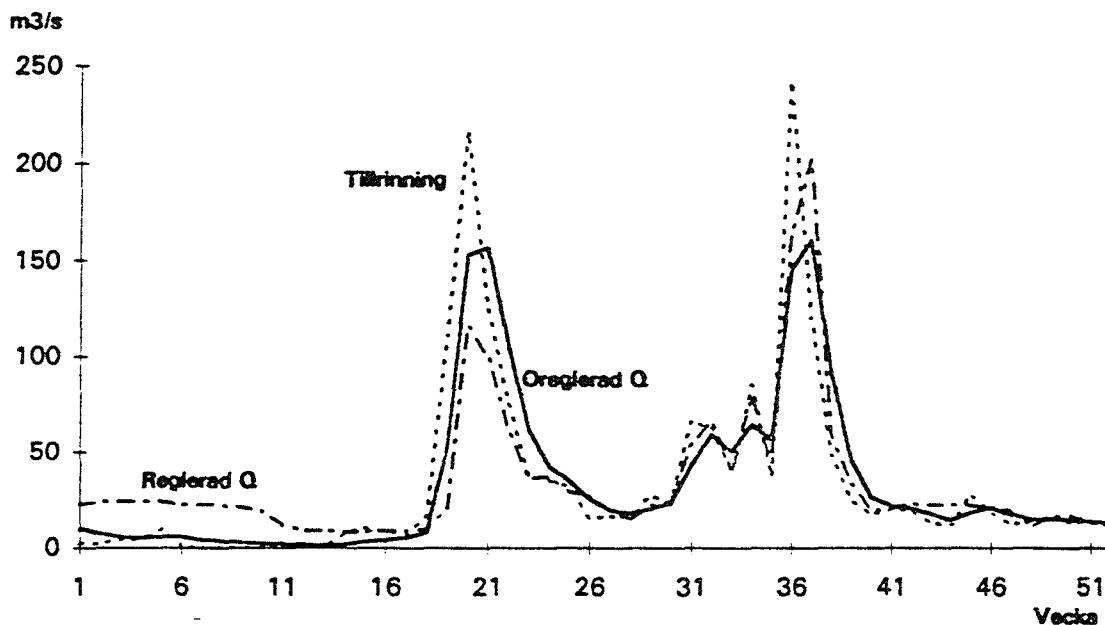
Figur 5. Tillrinning samt oreglerad och reglerad vattenföring (Q) i Gråda 1976.



Figur 6. Tillrinning samt reglerad och oreglerad vattenföring (Q) i Gråda 1985.

4.2. Oreglerad och reglerad vattenföring i Skattungbyn (Oreälven)

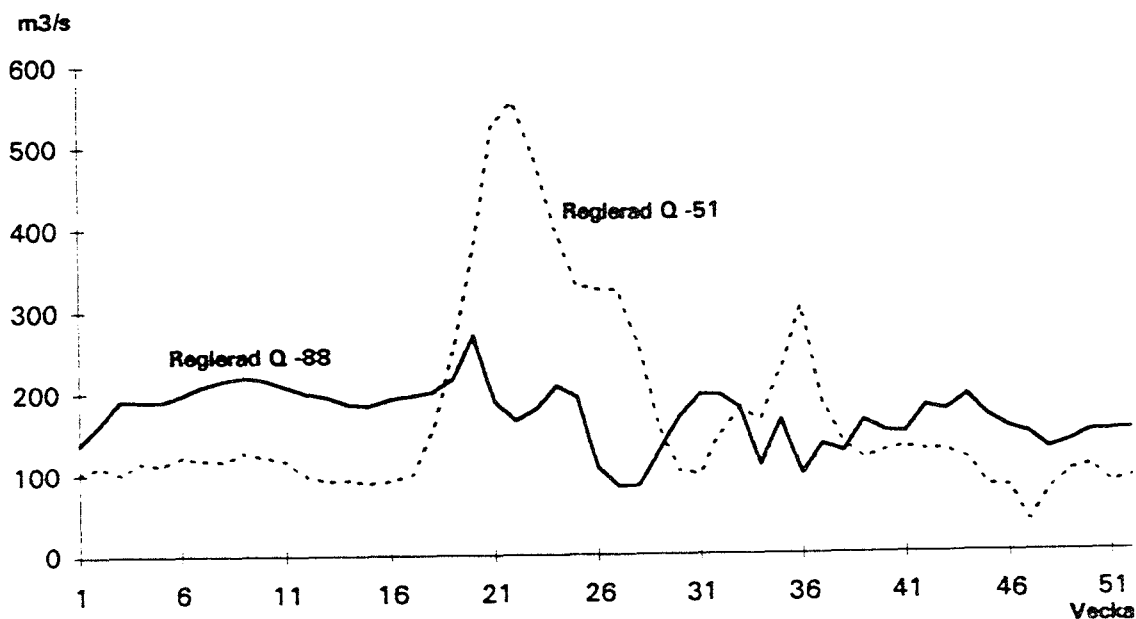
Vid jämförelse av vattenföringarna i Gråda och Skattungbyn upptäcker man både likheter och olikheter (fig. 6 & 7). För att börja med likheterna inträffade topp- och bottennoteringarna för såväl oreglerad som reglerad vattenföring året 1985 vid samma tidpunkt. En kraftig vattenföringsökning skedde vår och höst. Skillnader är att vattenföringen i Skattungbyn följer tillrinningen på ett markantare sätt än i Gråda och speciellt då den oreglerade. Vattenföringen reagerar långsammare på en förändring i tillrinning i Gråda än i Skattungbyn, vilket är den naturliga följden av Oreälvens lägre regleringsgrad.



Figur 7. Tillrinning samt reglerad och oreglerad vattenföring (Q) i Skattungbyn 1985.

4.3. Före och efter Trängsletsjön och Vässinjärvi

Då man studerar skillnader på vattenföringarna i Gråda före och efter Trängsletsjön och Vässinjärvi kan man konstatera att de båda artificiella magasinerna har en stor inverkan på situationen i Österdalälven. Åren som jämförs är 1951 och 1988, två normala nederbördsår. De oreglerade vattenföringarna var för dessa år därför i stort sett lika, med låga vintervattenföringar och en vårflood i slutet av maj. De reglerade vattenföringarna för de två åren skiljde sig betydligt mer, vilket är väntat med tanke på skillnaderna i grad av utbyggnad mellan åren (fig. 8). Före den stora regleringen kunde endast en mindre magasinering åstadkommas under sommarhalvåret för att därmed kunna öka vintervattenföringen. Effekten av Trängsletsjön och Vässinjärvi märks tydligt genom den kraftigt sänkta reglerade vattenföringen under vår och sommar.



Figur 8. Reglerad vattenföring (Q) i Gråda åren 1951 och 1988.

4.4. Hög- och lågvattenföring i Gråda

Ett sätt att jämföra reglerad och oreglerad vattenföring är att studera veckomedelvattenföringar under den aktuella perioden 1950-91. Man jämför då hög- och lågvattenföringarna. Högsta högvattenföringen (HHQ) är den högsta vattenföringen som existerat under perioden, medan medelhögvattenföringen (MHQ) är medelvärdet av de högsta årsvattenföringarna för alla år. På motsvarande sätt anges lågvattenföringen, ett värde för den vattenföring som var lägst under perioden (LLQ) och medellågvattenföring (MLQ), vilket är medeltalet av de lägsta vattenföringarna för varje år. MQ står för årsmedelvattenföring för hela perioden.

Om det vore oreglerat skulle vattenföringen ha uppgått till 705 m³/s 1966 (tabell 2), vilket motsvarar ett vattenstånd i Siljan på 163,68 m. Detta skall jämföras med medelvattenföringen 151 m³/s och den maximalt tillåtna vattenföringen enligt vattendomen 293 m³/s, som i sin tur motsvarar 161,78 m. I det reglerade fallet var HHQ 556 m³/s och vattenståndet i Siljan 163,04 m. Det skedde hösten 1985, 1916 var dock situationen betydligt allvarigare med ett vattenstånd i Siljan på 163,89 m. Då man jämför HHQ och MHQ i de två fallen kan man konstatera att vattenföringarna har minskat drastiskt till följd av reglering. MLQ och LLQ är i samma storleksordning vid reglerat och oreglerat, 45 och 44 m³/s respektive 25 och 29 m³/s.

Tabell 2. Hög- och lågvattenföring vid reglerat och oreglerat flöde i Gråda, angivet som veckovärden i m³/s

| Vattenföring | Reglerat flöde | Oreglerat flöde |
|------------------------------|------------------|------------------|
| Högsta högvattenföring (HHQ) | 556 ¹ | 705 ² |
| Medelhögvattenföring (MHQ) | 340 ³ | 430 ³ |
| Årsmedelvattenföring (MQ) | 151 ³ | 151 ³ |
| Medellågvattenföring (MLQ) | 45 ³ | 44 ³ |
| Lägsta lågvattenföring (LLQ) | 25 | 29 ⁴ |

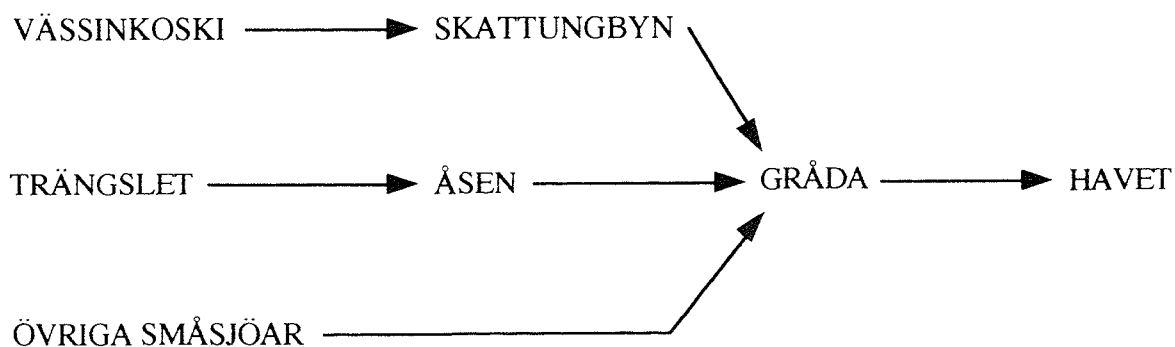
¹ 1985; ² 1966; ³ 1950 - 1991; ⁴ 1970

5. REGLERINGSNYTTA

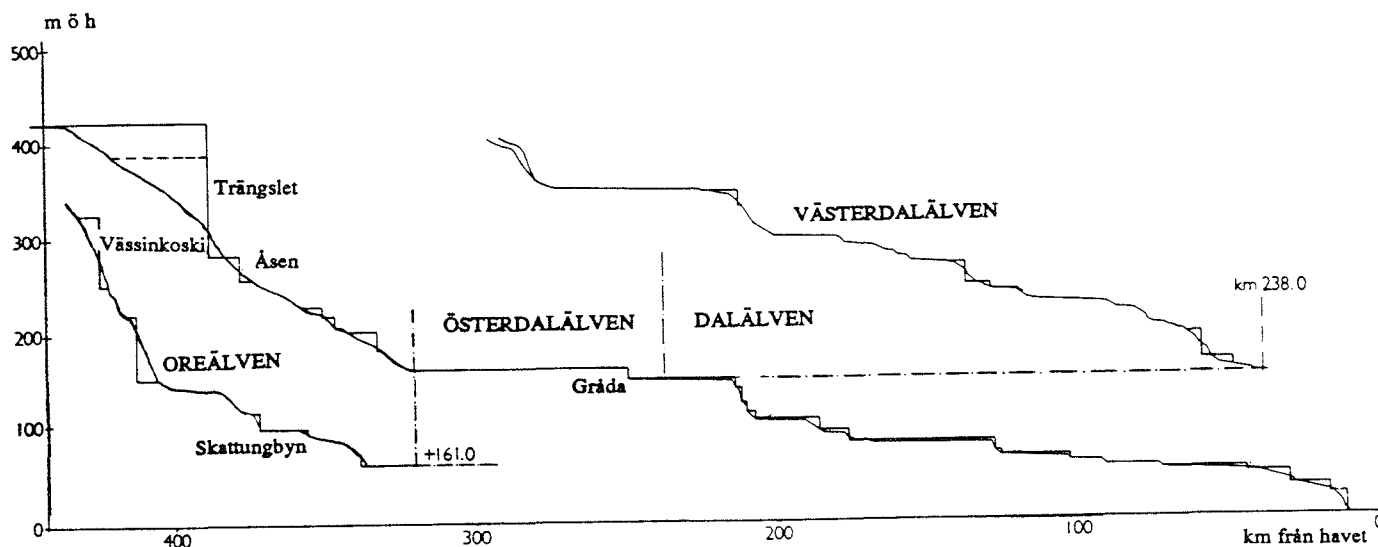
Huvudsyftet med att reglera våra vattendrag är att öka energiutbytet av dem. Detta åstadkoms genom att dels minska spillet, en större mängd vatten kan då gå igenom kraftstationerna, dels sker en omfördelning av det tillgängliga vattnet från tider med mindre energibehov till årets mer energikrävande. För att få en uppfattning om värdet av regleringarna har en ekonomisk beräkning på regleringsnyttan utförts.

5.1. Utförande

Den totala regleringsnyttan för hela Österdalälven har beräknats genom att väga värdet av producerad energi i det oreglerade och det reglerade fallet mot totala kostnaden för regleringarna. Regleringsnyttan är beräknad i medeltal per år och är omvandlad till penningvärdet för maj 1992. Beräkningarna är utförda på sex delsträckor i Österdalälven. Dessa är (årtalen inom parentes är de år som årsmedelvärdena är beräknade på): Trängslet till Åsen (1984-91), Åsen till Gråda (1984-91), Vässinkoski till Skattungbyn, Skattungbyn till Gråda (1975-91), Småsjöar ovan Gråda till Gråda och slutligen Gråda till havet (1975-91) (fig. 9). För att kunna beräkna regleringsnyttan måste man känna fallhöjden hos varje utbyggt fall. Detta åskådliggörs bäst genom att visa den s.k. falltrappan för Dalälvens flodområde (fig. 10).



Figur 9. Sträckindelning för beräkning av regleringsnytta.



Figur 10. Falltrappan för Dalälvens flodområde.

Regleringsvinsten har beräknats på följande sätt:

1. Beräkningarna utgår från de mängder vatten som passerar respektive spills vid en kraftstation. Genom att känna vattenföringen och utbyggnadsvattenföringen för det aktuella fallet kan de olika vattenvolymerna bestämmas.
2. Med ekvationen för potentiell energi W_p (J, Ws) (ekv. 3) bestäms energivärdet av vattenvolymen vid aktuell fallhöjd.

$$W_p = V \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \eta \quad (3)$$

där V = vattenvolym (m^3)
 ρ = densitet för vatten ($1000 \text{ kg}/m^3$)
 g = tyngdacceleration ($9.81 \text{ m}/s^2$)
 h = fallhöjd (m)
 η = verkningsgrad (90 %)

Energi per tidsenhet (t), d.v.s. effekten P (J/s, W), ges av:

$$P = W_p / t \quad (4)$$

Effekten P (kJ/s, kW) fås i detta fall genom:

$$P = Q \cdot g \cdot h \cdot \eta \quad (5)$$

där Q = vattenföring (m^3/s)

Energivärdet beräknas på det vatten som passerar kraftstationen (producerad energi) och det som spills bredvid, dels vid reglerad och dels vid oreglerad vattenföring.

3. Med hjälp av uppgifter på energiavgifter för 130 kV högspänning omräknas energivärdet till värdet i Mkr (maj, 1992). Energiavgiften varierar mycket under året och även under dygnet. Den lägsta avgiften är under maj-augusti och den högsta november-december och januari-mars, 13,6 öre/kWh respektive 28,3 öre/kWh under dagtid (06-22).
4. Regleringsvinsten bestäms. Regleringsvinsten härrör dels från ökningen i energiproduktion och dels i form av ökat effektutbyte.
 - a) Energivinsten beräknas. Energivinsten är skillnaden i produktionsvärde mellan reglerad och oreglerad vattenföring i GWh och Mkr.
 - b) Effektvinsten beräknas. En ökad vintervattenföring medför en högre medeleffekt i nedstöms belägna kraftstationer under den tid på året då effektbehovet är som störst. Denna effektvinst värderas till ca 150 kr/kW och baseras på skillnader mellan reglerad och naturlig vattenföring för perioden november-mars, exkl. vecka 52 och vecka 1. Effektvinsten anges som vintermedelvattenföring i m^3/s , MW och Mkr.
5. Anläggnings- och driftskostnader för samtliga regleringar i aktuellt område beräknas och översätts till 1992-års penningvärde för att kunna jämföras med

resultatet från punkt 4. Eftersom en reglering gynnar samtliga parter nedströms regleringen så är kostnaderna relaterade till fallhöjden. T.ex. kostnaderna för Trängsletdammen fördelas nedströms mellan Trängslet, Åsen, Gråda o.s.v.

6. Produktionsvärdet och värdet på spill vid reglerad och oreglerad vattenföring, skillnader mellan dessa samt den totala kostnaden beräknas slutligen för hela Österdalälven.

5.2. Regleringsvinstresultat för Österdalälven och dess delsträckor

Resultatet av beräkningarna på regleringsnytta för Österdalälven och dess delsträckor redovisas i tabeller (bilaga V). Vattenvolymen som passerat kraftstationen respektive den del som spillts bredvid är angivet i tabellen för energivinsten. Energivärdet hos vattnet i GWh och Mkr och skillnaden mellan dessa, liksom energivinsten, anläggnings- och driftskostnaderna är angivna. Viktigt att poängtera är att de kostnadsvärden som är redovisade är ungefärliga. Tabellen för effektvinsten är uppställd på liknande sätt. Den totala regleringsvinsten i Österdalälven är sammanställd separat. De värden som gäller "spillet" ingår även i värdena för produktion.

Energivärdet på det tillgängliga vattnet vid Trängslet är 700 GWh/år och motsvarar 141 Mkr. Den totala kostnaden för regleringen är ca 4,4 Mkr/år. Effektvinsten värderas till 144 MW och 21 Mkr. I dagens penningvärde (maj, 1992) kostade byggandet av Trängsletdammen totalt drygt 500 Mkr.

Regleringarna vid Siljan och Skattungbyn, genomförda 1926 och 1921-24, är så gamla att anläggningskostnaderna per år nu är mycket små. Den huvudsakliga kostnaden för dem är driftskostnaderna.

Utan Österdalälvens regleringar hade årsproduktionen med Österdalälsvatten varit 1990 GWh mot 2866 GWh med reglering. Värdet av detta är 319 respektive 539 Mkr. Mindre än en tredjedel av det vatten som spillts vid oreglerad vattenföring spillts vid reglerad. Genom att minska spillet görs en vinst på 29 Mkr/år. Regleringarna har medfört att vintermedelvattenföringen från Gråda har ökat med 66 m³/s, vilket med en utbyggd fallhöjd på 149 m motsvarar 87 MW till ett värde av 13 Mkr/år. Den totala kostnaden för regleringsarbetet uppgår till 11 Mkr/år, där ungefär lika stor andel utgörs av drifts- respektive anläggningskostnader.

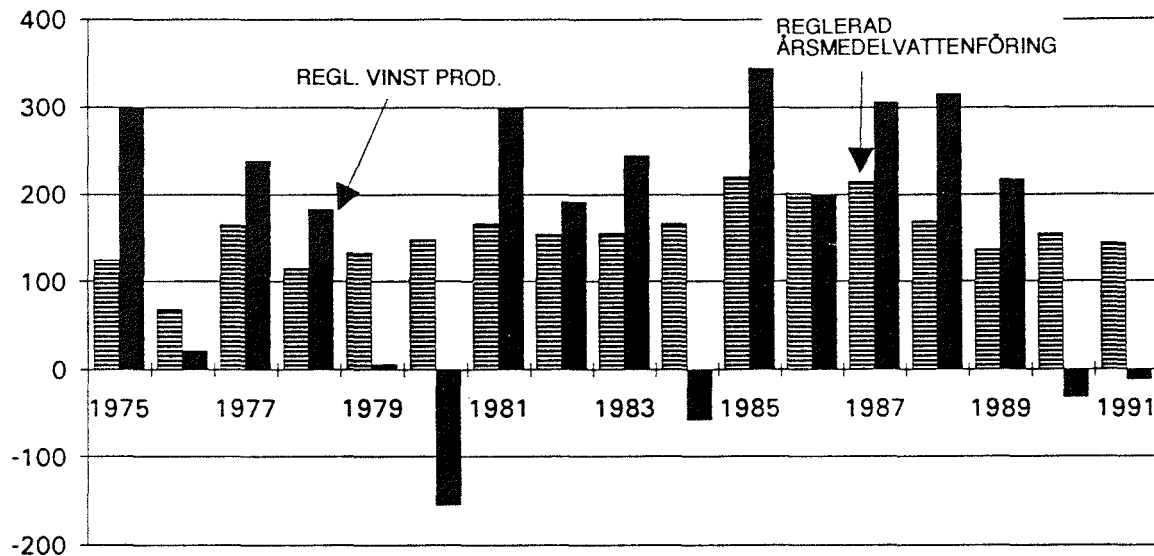
5.3. Regleringsvinst årsvis för sträckan Gråda till havet

Om man studerar nyttan av regleringarna i Österdalälven för varje år får man ökad förståelse för vad den beror av. Till exempel hur den beror av årets medelvattenföring och nederbörd. Ett ökat utbyte fås genom att minska spillet och omfördela vattnet från olika tidpunkter. Det är därför intressant att se hur regleringsvinsten från dessa båda källor påverkas av årsmedelvattenföringen. Nedan redovisas regleringsvinsten för sträckan Gråda till havet årsvis för minskat spill och för produktionsökning, där den senare är skillnaden i produktion vid naturlig och reglerad vattenföring.

a) Regleringsvinst för produktionsökning (GWh/år)

År då energiutbytet av regleringarna var mycket stort är 1975, 1981, 1985, 1987 och 1988 (fig. 11). Dessa år kännetecknas av hög nederbörd under månader då kraftbehovet varit lågt. Det innebär att stora vattenmängder magasineras till tider med större behov, vilket kan vara först under nästkommande år. ”Ju mer fel nederbörden faller ur kraftbehovssynpunkt desto viktigare är det med magasinering, regleringsvinsten ökar.” Det förekommer år då regleringsvinsten var negativ. Det beror dels på att naturen själv hade ”reglerat” vattnet på ett önskvärt sätt samt att man i det reglerade fallet flyttat vatten från ett år till ett annat. Exempel på detta är åren 1980 och 1984 då nederbörden var stor under hösten.

m³/s, GWh/år

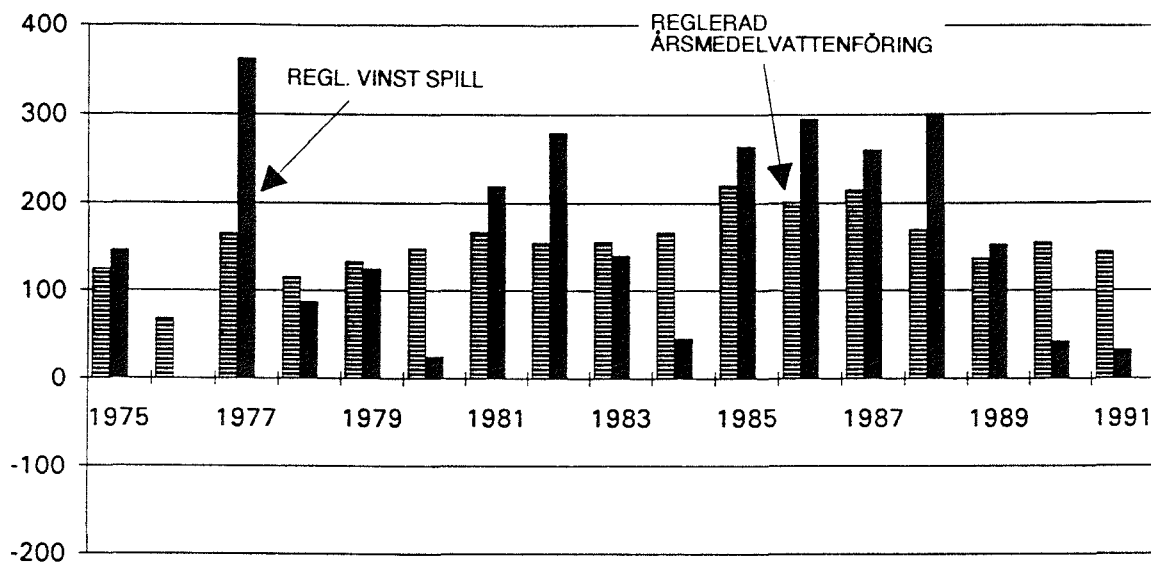


Figur 11. Regleringsvinst för produktionsökning sträckan Gråda till havet (GWh/år).

b) Regleringsvinst för minskat spill (GWh/år)

De största regleringsvinsterna med anledning av minskning i spill sker under år med höga vattenföringar. Jämn nederbörd under året ger den största skillnaden mellan reglerat och oreglerat vad gäller energivärdet på spillt vatten. Exempel på detta är 1977, 1982 och 1988 (fig 12). Det torra året 1976 spilldes inget vatten alls, varken vid naturlig eller reglerad vattenföring, detta år gav därför ingen regleringsvinst i avseende på reducerat spill. Kraftig nederbörd under sen hösten 1984 resulterade till relativt stora spill inte bara vid det oreglerade fallet utan även i det reglerade. Extremt stora spill blev resultatet av 1985-års höstflod. Spillet var dock mycket större för den oreglerade vattenföringen och regleringsvinsten blev därmed hög.

m³/s, GWh/år

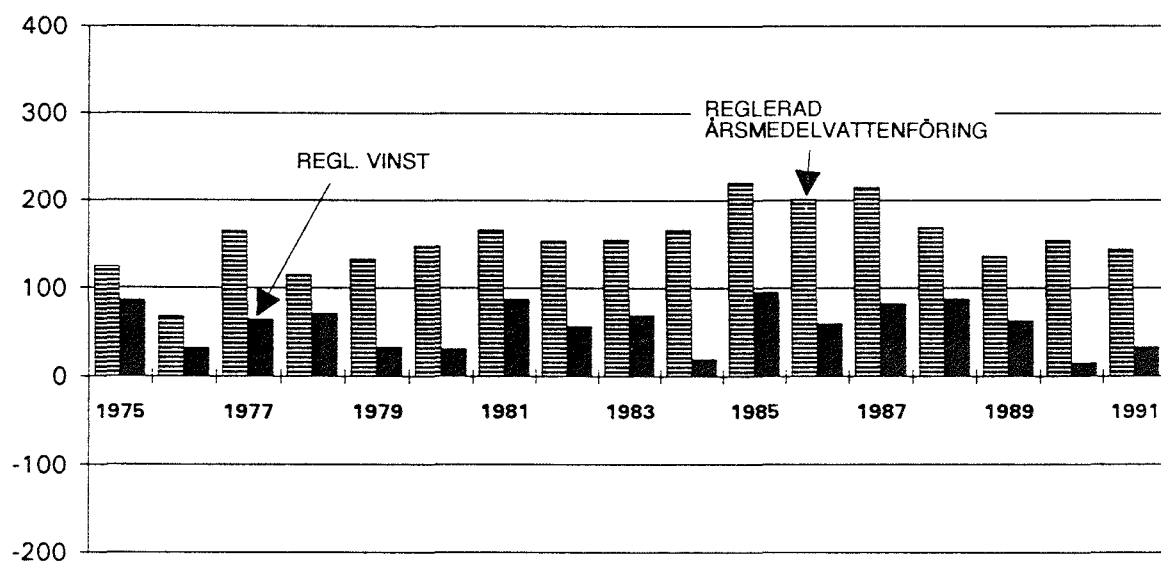


Figur 12. Regleringsvinst för minskat spill sträckan Gråda till havet (GWh/år).

c) Värdet av energivinsten (Mkr/år)

Regleringsvinsten har i a) och b) angivits i GWh/år. Nyttan av en reglering beror dock inte bara på den mängd energi som produceras, priset är också viktigt. Eftersom priserna varierar mycket under både året och dygnet är tidpunkten för den producerade energin betydelsefull. Det innebär att ett år med en hög total produktion (framförallt hög produktion under sommarhalvåret) kan vara mindre lönsamt än ett år med lägre total produktion, men där produktionen i huvudsak förlagts till vinterhalvåret. Mätt i GWh/år hade några år (1980, 1984, 1990 och 1991) negativ regleringsvinst, värderat i Mkr är resultatet dock det omvända (fig. 13). Produktionen var lägre 1980 i det reglerade fallet än i det oreglerade. Regleringsvinsten är däremot 32 Mkr, vilket visar att tidpunkten för varje producerad GWh är viktig.

m³/s, Mkr/år



Figur 13. Värdet av regleringsvinsten för sträckan Gråda till havet (Mkr/år).

d) Energivinsten före och efter Trängsletsjön och Vässinjärvi

För att belysa Trängslets verkliga betydelse för vattenföringen från Gråda jämförs nyttan av regleringarna för åren 1975-91 med den för 1950-59. Regleringsvinsten var i det förstnämnda fallet 163 GWh årligen. Åren före Trängsletsjön och Vässinjärvi byggdes var regleringsvinsten, mätt i GWh, runt noll och t.o.m. negativ flera år. Energivärdet av regleringarna före 1960 var dock 12 Mkr/år, att jämföra med 59 Mkr/år för perioden 1975-91.

6. DISKUSSION

6.1. Felkällor och förenklingar

I föreliggande examensarbete har endast inverkan av de stora regleringarna i Österdalälven studerats. Det nyutvecklade dataprogrammet (döpt till LRSIL) kan utökas för att omfatta hela Dalälvens avrinningsområde och därmed integreras med DVFs rutinmässiga ADB-baserade vattenhushållningsrapportering. Den oreglerade veckomedelvattenföringen beräknas och redovisas då parallellt med reglerad vattenföring och tillrinning. Programmet är idag fristående, länkat mot tillrinningsfilerna som ständigt uppdateras, och kan därför vid behov köras fram till aktuell vecka för redovisning av gällande oreglerad (naturlig) vattenföring i Österdalälven. Beräkningarna är i detta fall genomförda i två punkter, Gråda och Skattungbyn. En utbyggd modell som skall gälla för hela Dalälven skulle betyda att antalet beräkningspunkter ökar från två till tjugo.

Vid beräkningen av regleringsnyttan från Gråda till havet har det förutsatts att allt vatten som inte spills vid Gråda (Österdalälven) även är det som kommer till nytta i nedströms belägna kraftstationer. Detta är en förenkling i modellen. En för hela Dalälven utvecklad modell måste även ta hänsyn till om det tappade vattnet från samtliga punkter i älven verkligen blir produktion eller ej i kraftstationerna nedströms.

Den regleringsvinst som räknats fram på sträckan Trängslet-Gråda är stor. Själva byggandet av Trängsletdammen för regleringsändamål var i sig en grundförutsättning för byggandet av de kraftstationer som sedan uppfördes på denna sträcka. Detsamma gäller för kraftstationerna Vässinkoski och Noppikoski (Oreälven) och deras beroende av Vässinjärvi som regleringsmagasin.

Vid jämförelse mellan oreglerade och reglerade förhållanden är det viktigt att underlaget är hämtat från ett stort antal år. Genom kontinuitetskontroll kan man bekräfta att samma vattenvolym omsatts i de två fallen samt att start- och slutvärde på magasinvolymen är jämförbara i desamma. Därav valet att studera en så pass lång period som 1975-91.

Modellen utgår från veckomedelvärden på tillrinningar, vilket skulle kunna anses vara en grov förenkling. Siljan, med dess stora vattenyta, har dock en så stor utjämnande förmåga att detta är av ringa betydelse vid rekonstruktion av Österdalälvens oreglerade vattenföring.

Vid beräkningarna har 52 st veckovärden används, vilket ger 364 dygn/år. Eftersom antalet dygn i verkligheten är 365.25 är varje år 1.25 dygn för kort. Om hänsyn togs till detta skulle dock inte resultatet påverkas speciellt mycket.

Regleringsvinsten skulle öka med uppskattningsvis omkring 0,5 %.

Diagrammen i bilaga III är av datatekniska skäl utformade med kurvlinjer och ej med s.k. trappstegskurvor, som vore det fullt riktiga.

6.2. Framtida utbyggnadsplaner

Om man ser framåt i tiden är några större förändringar i Dalälvsområdet inte att vänta. Någon ytterligare utbyggnad av Österdalälven är inte aktuell, då den anses vara utbyggd så mycket som det är möjligt. I Västerdalälven är dock situationen den omvända. Där utnyttjas endast vattenkraften i mindre omfattning. Utredningar har genomförts vid flera tillfällen rörande reglering av älven. Dels för att öka elkraftproduktionen och dels för att förhindra eller minska översvämning. Kraftintressenter i Dalälven genomförde 1976 en studie i syfte att kartlägga möjligheterna att reglera Västerdalälven. Den omfattar skisser på byggnadsförslag, landskapsbeskrivning d.v.s. hur utbyggnaderna påverkar omgivningen samt principer för kompensationsåtgärder.

En utbyggnad enligt den föreslagna planen skulle ge en elproduktionsökning från 350 GWh till 1100 GWh årligen i Västerdalälven och den förenade Dalälven (Sundquist, 1976), vilket kan jämföras med produktionen i Österdalälven på 2866 GWh/år. Tillsvidare har dock riksdagen bestämt att Västerdalälven skall vara undantagen vidare utbyggnad. Idag inriktas regleringsarbetet mot att effektivisera vecko- och dygnsregleringen.

6.3. Allmänt

I denna uppsats har reglering av Österdalälven studerats, hur den påverkar vattenföringen samt det ekonomiska utbytet av dessa regleringar. Det finns både positiva och negativa faktorer med att reglera. Här följer en enkel sammanställning över några av dessa.

- + Ökat energiutbyte.
- + Ekonomisk förtjänst.
- + "Ren" energikälla.
- + Möjlighet att förhindra eller dämpa flöden.

- Ingrepp i naturen.
- Konfliktsituationer kan uppstå då många intressenter är inblandade.
- Försvårar fortplantning hos vissa fiskarter.
- Risk för ökad höstflod år då höstnederbörden är riklig.

Enligt beräkningarna på regleringsnyttan värderades den totala regleringsvinsten för Österdalälven till ca 250 Mkr/år. Det kan verka förvånansvärt mycket. Man bör dock då ha i åtanke att för att kunna tillgodogöra sig denna vinst krävs kraftstationer som i sig är mycket kapitalkrävande (ett antal miljarder kronor). I denna uppsats har ej hänsyn tagits till detta, bara effekten av själva regleringen har behandlats. Noteras bör också att det utgår en s.k. vattenkraftskatt om ca 2 öre/kWh, vilket i detta sammanhang åter upp ca 20 Mkr/år av regleringsvinsten.

7. SAMMANFATTNING

Syftet med examensarbetet var att arbeta fram en datamodell och med den beräkna den naturliga (oreglerade) vattenföringen i Gråda och Skattungbyn samt att värdera regleringsnyttan i Österdalälven. Den oreglerade vattenföringen användes sedan för att studera skillnader mellan det reglerade och oreglerade förhållandet. Vid torra perioder och flöden är intresset stort att undersöka hur regleringarna påverkar vattenföringen i älven.

Den beräknade oreglerade vattenföringen har jämförts med den reglerade för åren 1950-91. Sammanfattningsvis kan sägas att den oreglerade vattenföringen är låg under vinterhalvåret för att öka kraftigt vid vårfloden. Vattenföringen varierar relativt mycket under året. I det reglerade fallet dämpas vårfloden, eftersom syftet är att magasinera vattnet till tider med större kraftbehov, d.v.s. vinterhalvåret. Den reglerade vattenföringen är därför högre än den oreglerade under vintern.

Vid jämförelse mellan reglerad vattenföring före och efter byggandet av Trängsletsjön och Vässinjärvi kunde man konstatera att de skiljde sig mycket åt. Innan dessa regleringar genomfördes var magasineringsförmågan i Österdalälven lägre, vilket gjorde att den reglerade vattenföringen då inte avvek speciellt mycket från den oreglerade. Möjligheten att kunna dämpa vårfloden var sämre. För att kunna studera nyttan av regleringarna i Österdalälven bestämdes regleringsvinsten och kostnaderna för regleringarna. Regleringsvinsten är skillnaden i effekt- och energivärde på det vatten som passerar kraftstationerna, dels till följd av minskat spill men framförallt till följd av kraftproduktion vid rätt tillfälle.

Sammanfattning av resultaten

- * Trängsletregleringen ger ett energitillskott på ca 700 GWh/år, vilket motsvarar 141 Mkr/år, på sträckan Trängslet till Åsen. Detta för en regleringskostnad om drygt 4 Mkr/år.
- * Reglering av Österdalälven har medfört att energiproduktionen totalt har ökat med närmare 1000 GWh/år i Dalälvsystemet, vilket motsvarar ca 220 Mkr/år. Ökad vintervattenföring har gett en effektvinst om 215 MW under novembermars, till ett värde av 32 Mkr/år. Regleringskostnaden uppgår till ca 11 Mkr årligen.
- * Värdet av energivinsten på sträckan Gråda till havet ökade från 11 till 51 Mkr/år, värderat till 1992-års prisnivå, då Trängsletsjön och Vässinjärvi byggdes.
- * Tillrinningarna (nederbörden) kommer på ett sådant sätt, att på sträckan Gråda till havet skulle en oreglerad Österdalälv ha gett högre energiproduktion ett år av fem. Värdet (Mkr) av den producerade energin är dock alltid högre då älven är reglerad.
- * Den nederbördsrika hösten 1985, som ledde till en kraftig höstflod, var vattenföringen under en tid något högre än vad den skulle ha varit om Österdalälven vore oreglerad.

Någon större utbyggnad i Dalälvsområdet är inte att vänta. Österdalälven är reglerad i princip så mycket som möjligt. Västerdalälven är däremot idag långt ifrån fullt utnyttjad för kraftändamål. Flera utredningar har genomförts vad gäller att bygga ut Västerdalälven, men i dagsläget är det inte aktuellt med ytterligare reglering. Riksdagen har beslutat att älven tillsvidare skall vara undantagen vidare utbyggnad. Regleringsarbetet inom Dalälvsystemet inriktas idag mot en effektivare och mer samordnad vecko- och dygnsreglering.

8. SUMMARY

The purpose of this study was to develop a computer based model and to reconstruct the natural (unregulated) water flow at the stations Gråda and Skattungbyn of the regulated river Österdalälven. The paper also includes an economical evaluation of the regulation.

During dry periods and periods with high flow rates it is interesting to study the consequences of the regulation. For the period 1950-91 the natural and the regulated water flow has been compared. For unregulated rivers the highest flow occurs during periods when the demand of electricity is low. Therefore, the purpose of regulation is to store the water when the spring- and autumn flood occur, in order to use it when the requirements of electricity are high, i.e. during the winter.

The natural water flow varies a lot during the year. It is lowest in the winter and reaches the maximum in the spring. By regulation the storage are filled up during the summer part of the year and therefore the regulated flow decreases. This enables the winter flow to increase.

By comparing the regulated water flow before and after the Trängslet and Vässinjärvi dams were built big differences have been found. Before these regulations were made the storage capacity was much lower and therefore the possibility to smooth out the spring flood was more difficult.

The profit of the regulation is the difference in energy- and effect production between the water passing through the power stations in the regulated and unregulated situation. The main reasons for this is the reduction of spill and the timing of the power production to the most interesting periods.

Summary of the results

- * The Trängslet dam gives additional energy of approximately 700 GWh/year, corresponding to 141 MSEK/year. The capacity profit was evaluated to 14 MSEK/year and the regulation cost is about 4 MSEK/year.
- * The regulation of the river Österdalälven has increased the production of energy with almost 1000 GWh/year, corresponding to approximately 220 MSEK/year. Increasing winter flow has also given a capacity profit of 215 MW during November-March, at a value of 32 MSEK/year. The total regulation cost reaches 11 MSEK/year.
- * The profit of energy for the distance between Gråda and the sea increased from 11 MSEK/year to 51 MSEK/year when the Trängslet and Vässinjärvi dams were built.

- * The precipitation pattern caused a higher energy production for an unregulated river in one year out of five between Gråda and the sea. The economical value of the energy production was however always higher when it was regulated.
- * The high precipitation during autumn of 1985, caused a strong flood, which was slightly higher than it should have been if the river Österdalälven had not been regulated.

No new major exploitation of the river Dalälven is expected. The river Österdalälven is regulated as much as possible but the Västerdalälven is today far from fully utilized for power production. For the time being no further regulation is planned. The regulation work with the Dalälven system is now focusing on improved efficiency and co-ordination of the regulation within days and within weeks.

9. FÖRKLARINGAR TILL BEGREPP

Inom vattenregleringen och vattenkraften används en rad för dem specifika begrepp. För att tydliggöra innebörden hos dessa följer här förklaringar av de vanligast förekommande i föreliggande text.

Avbördningskurva - Visar sambandet mellan antingen volym (DE) eller höjd (m ö h) och vattenföring Q (m^3/s).

Dygnsenhet - Volymsenhet där 1 dygnsenhet (DE) är den volym vatten som en vattenföring på $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ger upphov till under ett dygn, d.v.s. $86\,400 \text{ m}^3$ ($60 \cdot 60 \cdot 24$).

Dämningsgräns - Högsta tillåtna vattenstånd enligt vattendom.

Fallhöjd - Höjdskillnaden (m) mellan två vattenytor, ovanför och nedanför en kraftverksdamm.

Flöde - Flöde är den situation då vattenföringen vid en reglering är så stor att den överskrider utbyggnadsvattenföringen och vatten därför måste spillas.

Magasinskurva - Visar sambandet mellan vattennivå (m ö h) och magasinvolymen (DE).

Magasinsvolym eller regleringsvolym - Den vattenmängd som är tillgänglig för reglering (Mm^3).

Naturlig (oreglerad) vattenföring - Vattenföring då ingen reglering sker.

Reglerad vattenföring (tappning) - Vattenföring då reglering sker.

Regleringsgrad (%) - Förhållandet mellan tillgänglig magasinvolym och den totala vattenmängd som i medeltal rinner förbi under ett år.

Regleringsvinst - Skillnaden mellan totalt producerad energi och effekt eller värdet av producerad energi och effekt under oreglerade och reglerade förhållanden. Anges här i GWh, MW och Mkr per år.

Spill - Den vattenföring som inte passerar kraftstationen utan leds förbi. T.ex. om vattenföringen är 200 m³/s och utbyggnadsvattenföringen 150 m³/s så är spillet 50 m³/s.

Sänkningsgräns - Lägsta tillåtna vattenstånd enligt vattendom.

Tappning - Styr (reglerad) vattenföring från en reglerad sjö eller kraftstation.

Tillrinning - Tillrinningen (T) i en punkt är summan av alla tillrinningar ovanför denna punkt. T.ex. tillrinningen i Gråda anger den sammanlagda tillrinningen till alla ovanliggande vattendrag, Trängslet, Siljan, Vässinjärvi o.s.v.

Utbyggnadsvattenföring - Största möjliga vattenföring som kan passera en kraftstation utan att något vatten behöver spillas (m³/s).

10. REFERENSER

Bjernulf, A. 1989. Siljans storöring - gamla fiskare berättar. Dalarnas museums serie av småutskrifter 54. Falun.

Dalälvens Vattenregleringsföretag 1960-1991. Årsredovisningar. Borlänge.

Hansson, J. 1992. Dalälven i jämförelse med andra älvar. DVF. Borlänge.

Jutman, T. 1975. Sjöavdunstningen i Sverige - Delrapport. PM 160. SMHI. Norrköping.

Rydberg, S. 1966. Älven, kraften, bygden. Dalälvens Vattenregleringsföretag 1916-1966. Uppsala.

Stockholms tingsrätt. a. Siljans reglering. 1924-1991. Österbygdens vattendomstols dom.

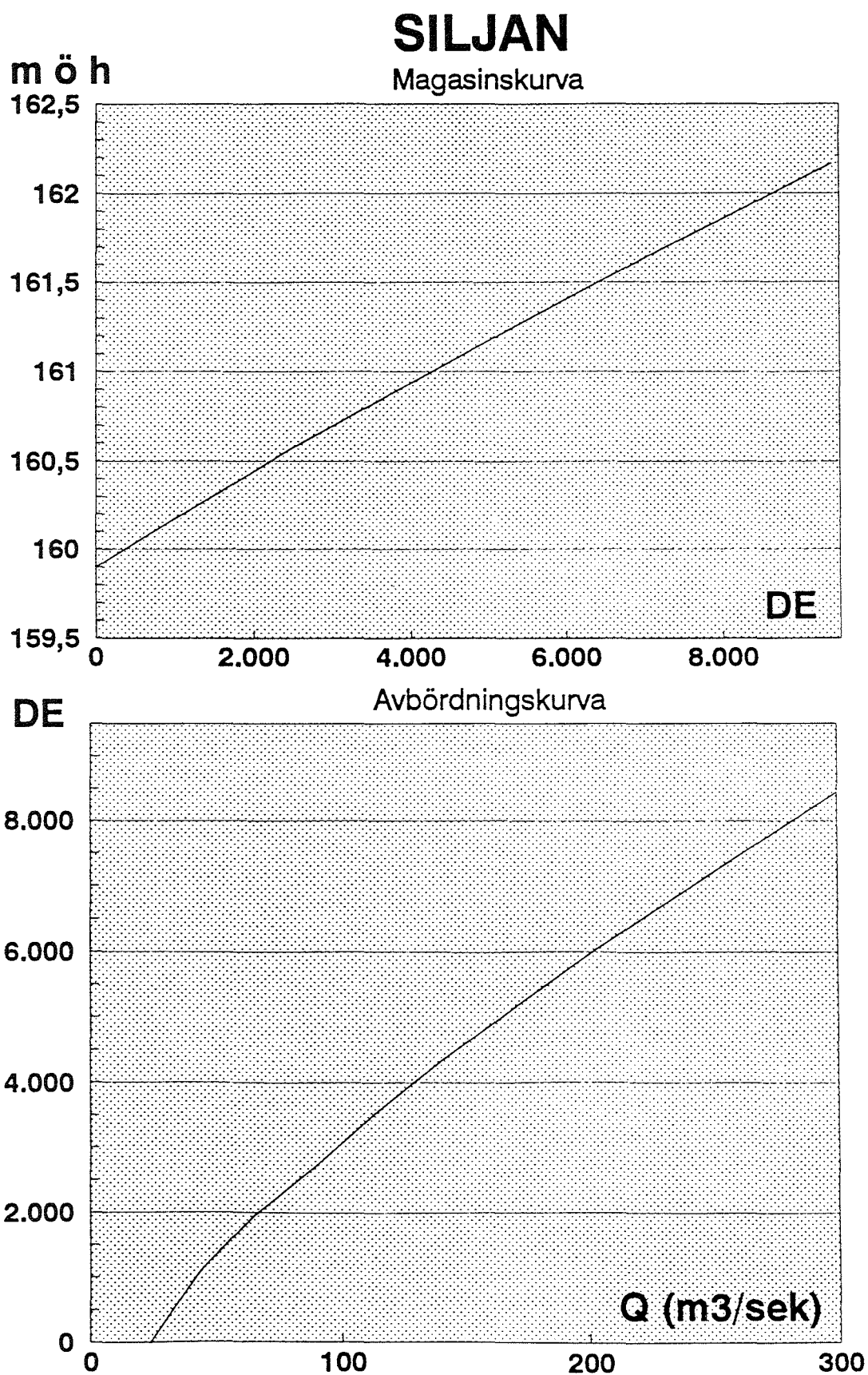
Stockholms tingsrätt. b. Skattungen och Oresjöns reglering. 1957-1991. Österbygdens vattendomstols dom.

Stockholms tingsrätt. c. Trängslets reglering. 1961-1991. Österbygdens vattendomstols dom.

Stockholms tingsrätt. d. Vässinjärvis reglering. 1967-1991. Österbygdens vattendomstols dom.

Sundquist, K. J. 1976. Västerdalälven. Reglering för elkraftproduktion och översvämningsskydd. Borlänge.

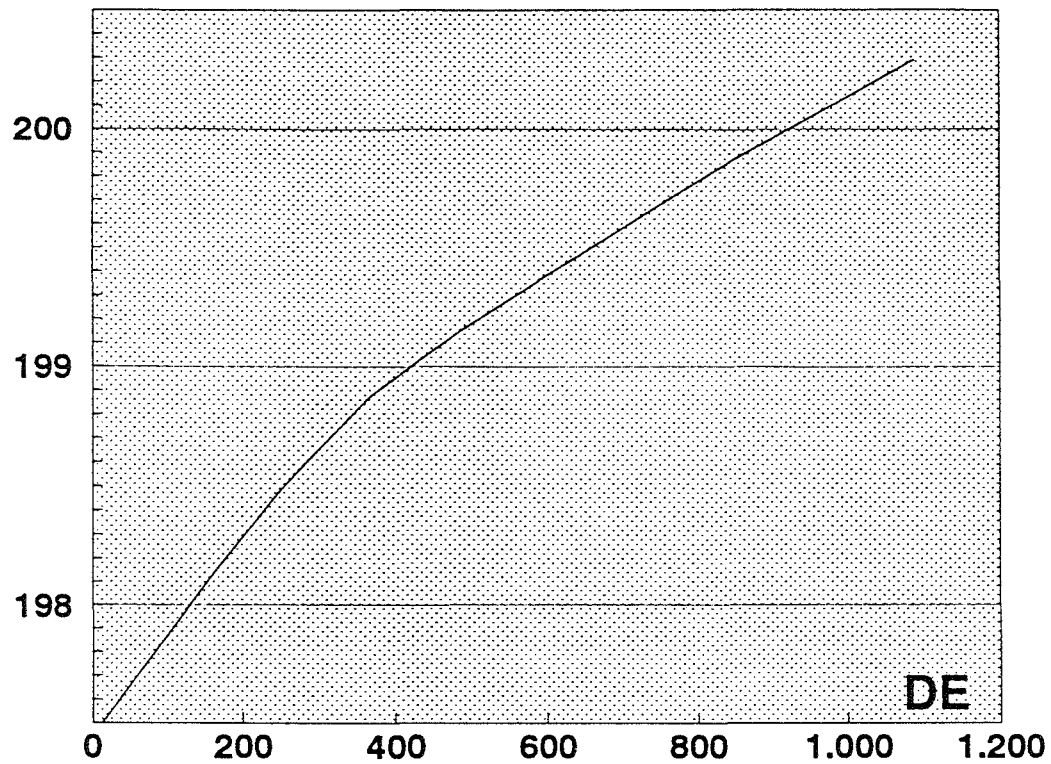
Svenska Kraftverksföreningen. 1992. Några data om Sverige och elenergin 1992. Stockholm.



SKATTUNGEN-ORESJÖN

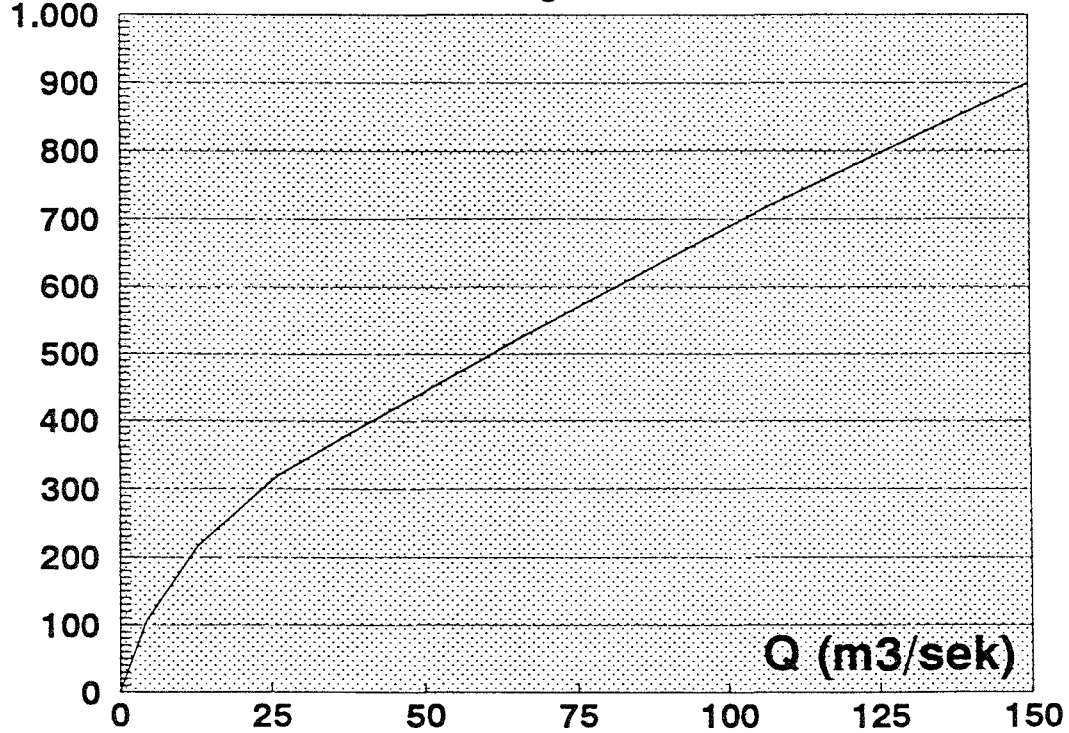
m ö h

Magasinskurva



DE

Avbördningskurva



Bilaga II. Dataprogram för beräkning av oreglerad och reglerad vattenföring

```
10 ! SAVE LRSIL3
20 ; CHR$(12)
30 DIM Y(20),Q(20),Sort(60),Osoq(60)
40 DIM Grat(60),Ograt(60),Ograq(60)
50 CRT FGREEN
60 ! LAKE-ROUTINGPROGRAM FÖR SKATTUNGEN.....
70 ;
80 CRT FYELLOW
90 !
100 ! -----START HUVUDPROGRAM SKATTUNGEN-----
110 !
120 ! CRT FRED
130 ; CUR(3,10) "BERÄKNING AV OREGLERAD VATTENFÖRING I ÖSTERDALÄLVEN"
140 ; CUR(5,10) "FÖR PERIODEN 1950 - 1991"
150 CRT BOLDOFF : CRT FYELLOW
160 ! STARTLÄGE..SKATTUNGEN OCH SILJAN
170 Syta=5.3 : Y=Syta : GOSUB 820 : Sq=Q : GOSUB 910 : Sm=M
180 ! ; "START-Q =";Sq,"START-M =";Sm,"Startnivå =";Y;" m ö ref"
190 Syta=161 : Y=Syta : GOSUB 980 : Sq=Q : GOSUB 1080 : Silm=M
200 ! ; "START-QSIL=";Sq,"START-MSIL=";Silm;"Y-SIL=";Y;" m ö ref"
210 ! ÖPPNA TILLRINNINGSFILER
220 OPEN 'SOT5085.DAT' AS FILE 1
230 OPEN 'GRT5085.DAT' AS FILE 4
240 FOR Ar=50 TO 91 : Ar$=NUM$(Ar) : Yr$=NUM$(1900+Ar)
250 FOR V=1 TO 52 : POSIT #1,(Ar-50)*300+V*5 : GET #1,T$ COUNT 5
260 T=VAL(T$)/7 : Sort(V)=T : NEXT V
270 ! ROUTING TIDSSTEG = 4 TIMMAR
280 Tsteg=4 : Tvarv=24/4
290 FOR V=1 TO 52 : Qv=0
300 ! FYLLER VARJE DYGN MED AKTUELL VECKOMEDEL TILLRINNING
310 FOR D=1 TO 7 : Qd(D)=Sort(V) : Q0=0
320 FOR B=1 TO Tvarv
330 Sm=(Qd(D)/Tvarv)-(Q/Tvarv)+Sm : M=Sm : GOSUB 1150 : Q0=Q0+(Q/Tvarv)
340 NEXT B
350 Qv=Q0+Qv
360 NEXT D
370 Qv=INT((Qv*10+.5)/7)/10 : Osoq(V)=Qv
380 ! ; TAB(3) "Ve =";V;" Q-ut =";Qv;" Mag =";Sm;" Q-in var:";Sort(V);
390 NEXT V
400 ! LAGRING AV Q-ut (VATTENFÖRING) SKATTUNGEN I FIL
410 GOSUB 1320
420 ! LAGRING AV Q-in (TILLRINNING) SKATTUNGEN I FIL
430 GOSUB 1450
440 !
450 ! -----SLUT HUVUDPROGRAM SKATTUNGEN-----
470 !
480 ! -----START HUVUDPROGRAM SILJAN-----
490 !
500 FOR V=1 TO 52 : POSIT #4,(Ar-50)*300+V*5 : GET #4,T$ COUNT 5
510 T=VAL(T$)/7 : Grat(V)=T
520 Ograt(V)=Grat(V)-Sort(V)+Osoq(V)
530 NEXT V
540 ! ROUTING TIDSSTEG = 4 TIMMAR
550 Tsteg=4 : Tvarv=24/4
560 FOR V=1 TO 52 : Qv=0
570 ! FYLLER VARJE DYGN MED AKTUELL VECKOMEDEL TILLRINNING
580 FOR D=1 TO 7 : Qd(D)=Ograt(V) : Q0=0
590 FOR B=1 TO Tvarv
600 Silm=(Qd(D)/Tvarv)-(Q/Tvarv)+Silm : M=Silm : GOSUB 1230 : Q0=Q0+(Q/Tvarv)
610 NEXT B
620 Qv=Q0+Qv
```

```

630 NEXT D
640 Qv=INT((Qv*10+.5)/7)/10 : Ograt(V)=Qv
650 ! ; TAB(3) "Ve=";V;" Q-ut=";Qv;" Mag=";Sm;" Q-in var:";Ograt(V);
660 NEXT V
670 ! LAGRING AV Q-ut (VATTENFÖRING) SILJAN I FIL
680 GOSUB 1590
690 ! LAGRING AV Q-in (TILLRINNING) SILJAN I FIL
700 GOSUB 1710
710 DIGITS 4
720 CRT FYELLOW
730 ; CUR(20,20) "ARBETAT MED ÅR :";1900+Ar
740 NEXT Ar
750 CLOSE
760 !
770 ! -----SLUT HUVUDPROGRAM SILJAN-----
780 !
790 END
800 !
810 !
820 ! SUBROUTIN VATTENFÖRINGSKURVA SKATTUNGEN.....
830 IF Y <= 4.85 THEN Q=(Y-4.5)*6.875+1.8 : GOTO 880
840 IF Y <= 5.22 THEN Q=(Y-4.82)*22.5+4.5 : GOTO 880
850 IF Y <= 5.5 THEN Q=(Y-5.22)*48.2+13 : GOTO 880
860 IF Y <= 6.03 THEN Q=(Y-5.5)*75.5+26.5 : GOTO 880
870 IF Y > 6.03 THEN Q=(Y-6.03)*85.59999999999999+66.5
880 Q=INT(Q*100+.5)/100
890 RETURN
900 !
910 ! SUBROUTIN DE-SKATTUNGEN.....
920 IF Y < 5.9 THEN M=(Y-4.5)*334.5 : GOTO 950
930 IF Y < 6.9 THEN M=(Y-5.9)*365+475 : GOTO 950
940 IF Y >= 6.9 THEN M=(Y-6.9)*408.3+840
950 M=INT(M*100+.5)/100
960 RETURN
970 !
980 ! SUBROUTIN VATTENFÖRINGSKURVA SILJAN.....
990 IF Y <= 160.4 THEN Q=(Y-159.9)*88+52 : GOTO 1050
1000 IF Y <= 160.9 THEN Q=(Y-160.4)*120+96 : GOTO 1050
1010 IF Y <= 161.3 THEN Q=(Y-160.9)*145+156 : GOTO 1050
1020 IF Y <= 161.9 THEN Q=(Y-161.3)*168.33+214 : GOTO 1050
1030 IF Y < 162.8 THEN Q=(Y-161.9)*203.33+315 : GOTO 1050
1040 IF Y >= 162.8 THEN Q=(Y-162.8)*232.5+498
1050 Q=INT(Q*100+.5)/100
1060 RETURN
1070 !
1080 ! SUBROUTIN DE-SILJAN.....
1090 IF Y <= 161.2 THEN M=(Y-159.9)*3961.5 : GOTO 1120
1100 IF Y <= 162.2 THEN M=(Y-161.2)*4270+5150 : GOTO 1120
1110 IF Y > 162.2 THEN M=(Y-162.2)*4360+9420
1120 M=INT(M*100+.5)/100
1130 RETURN
1140 !
1150 ! SUBROUTIN FRÅN MAGASINSINNEHÅLL TILL VATTENFÖRING FÖR SKATTUNGEN...
1160 IF M <= 107 THEN Q=M*.0243+1.7 : GOTO 1210
1170 IF M <= 218 THEN Q=(M-107)*6.759999999999999E-02+4.3 : GOTO 1210
1180 IF M <= 330 THEN Q=(M-218)*.1268+11.8 : GOTO 1210
1190 IF M <= 519 THEN Q=(M-330)*.209+26 : GOTO 1210
1200 IF M > 519 THEN Q=(M-519)*.227+66
1210 RETURN
1220 !
1230 ! SUBROUTIN FRÅN MAGASINSINNEHÅLL TILL VATTENFÖRING FÖR SILJAN.....

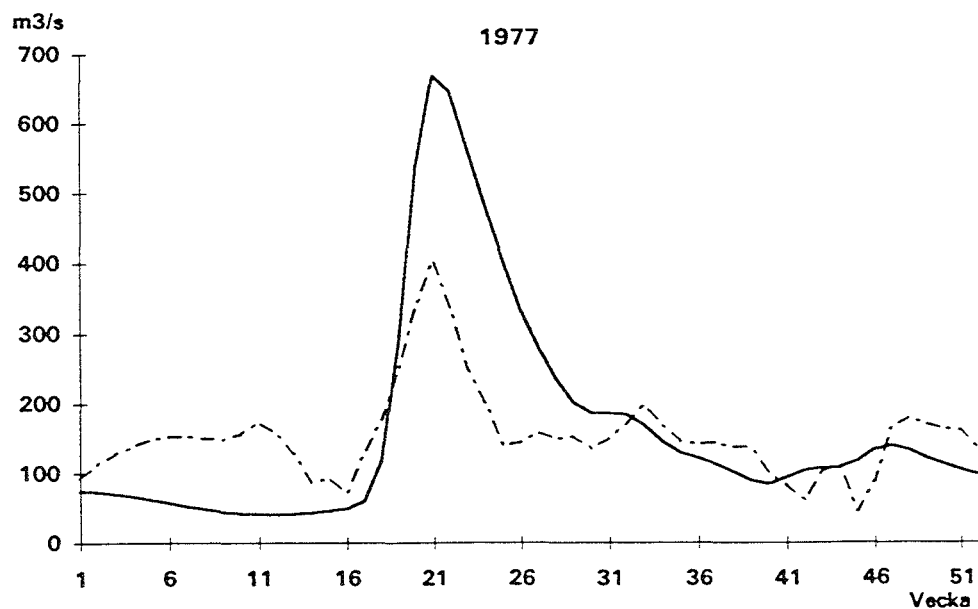
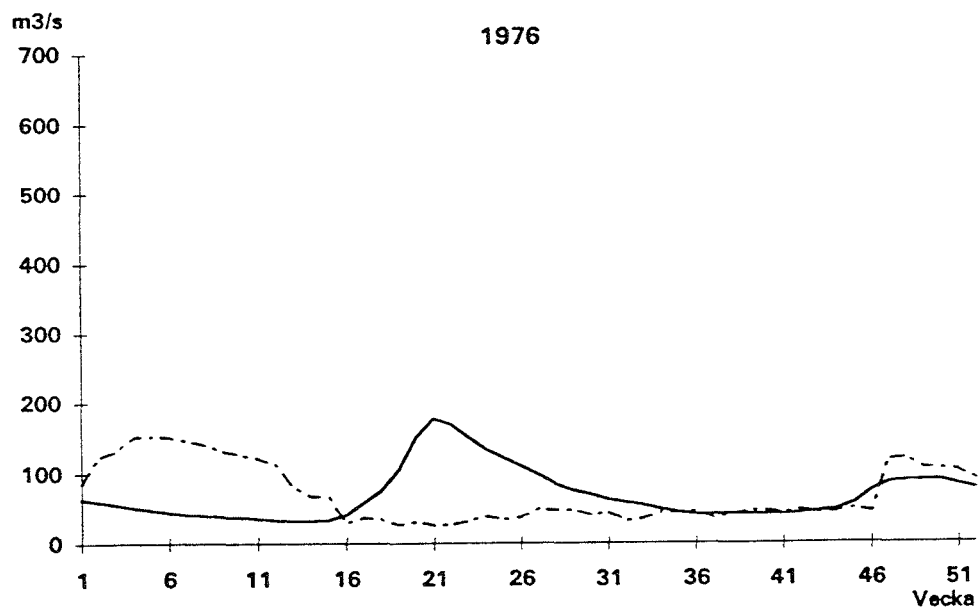
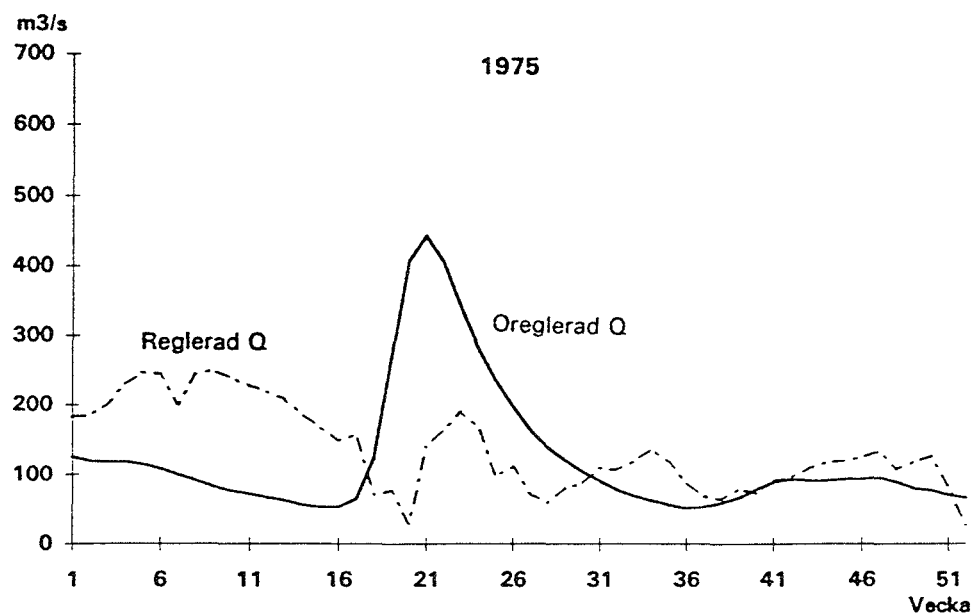
```

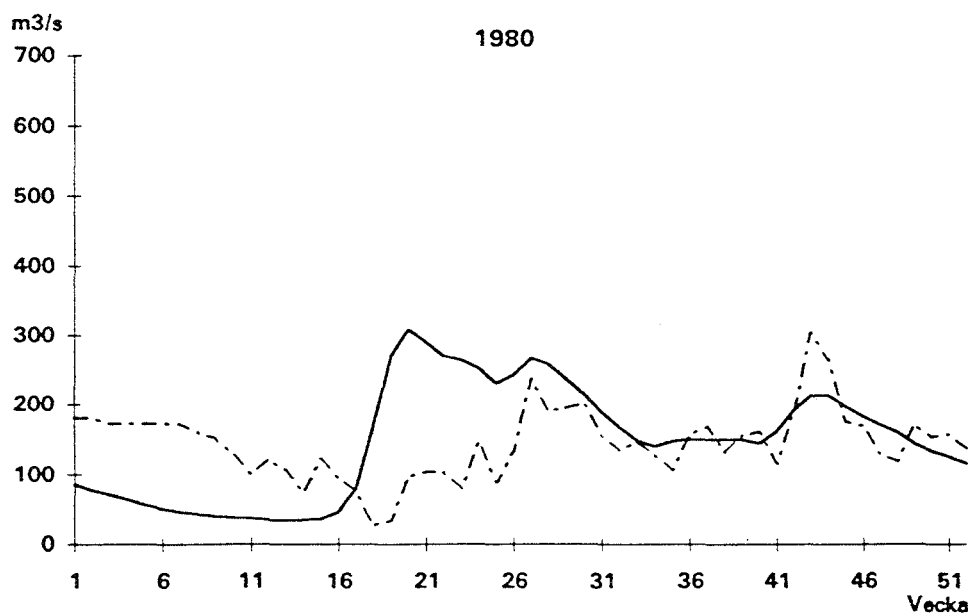
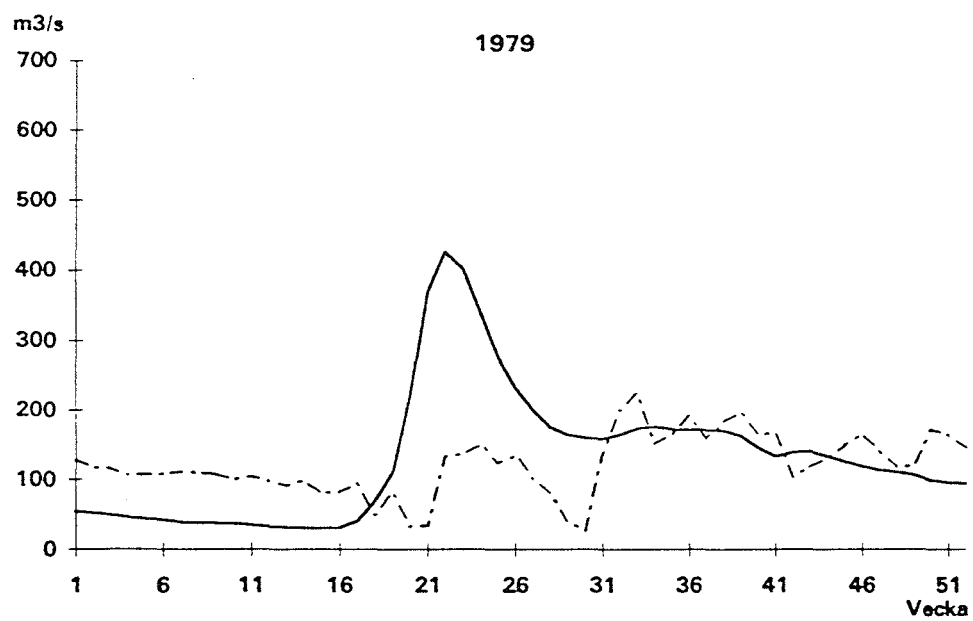
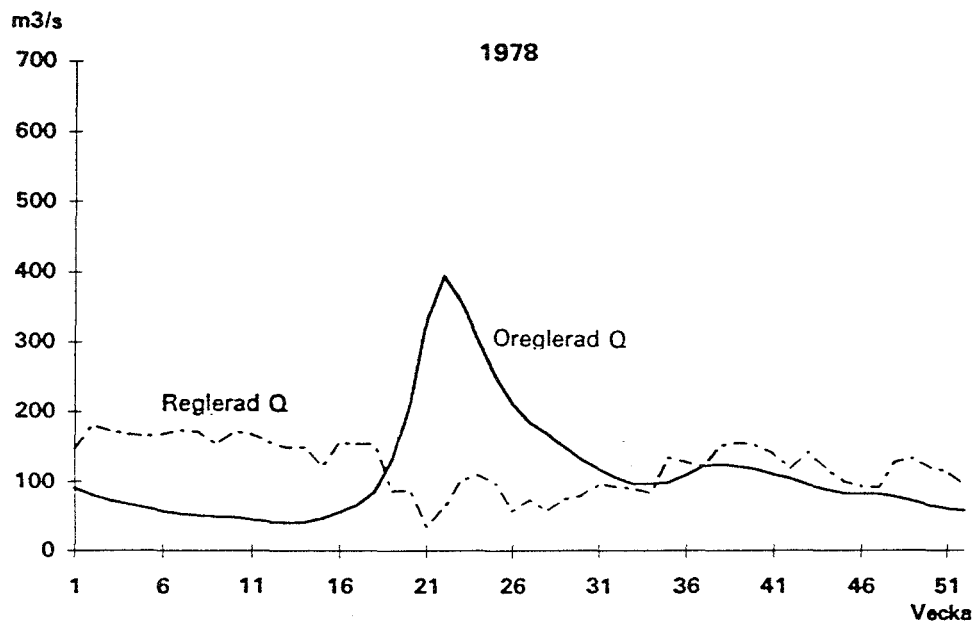
```

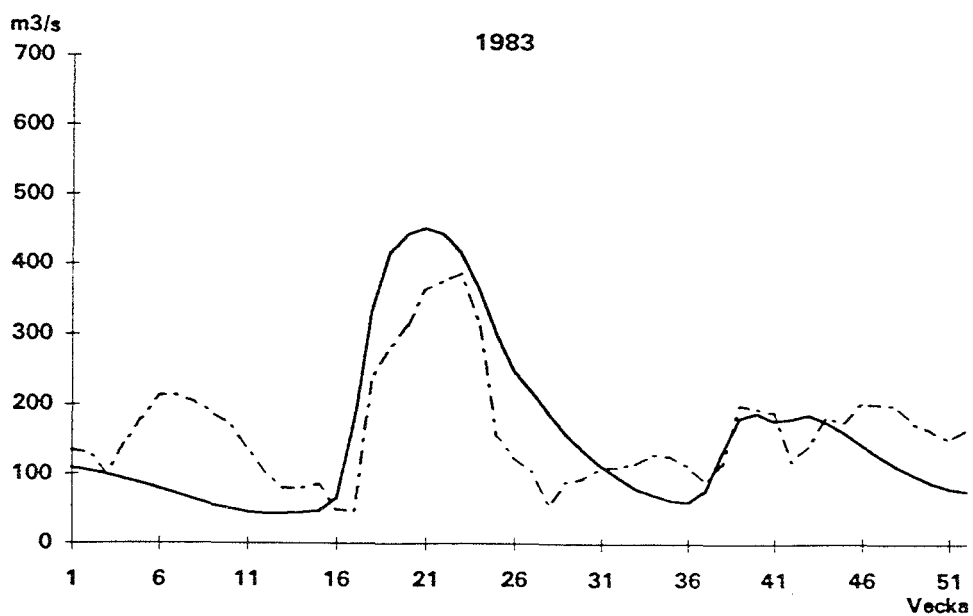
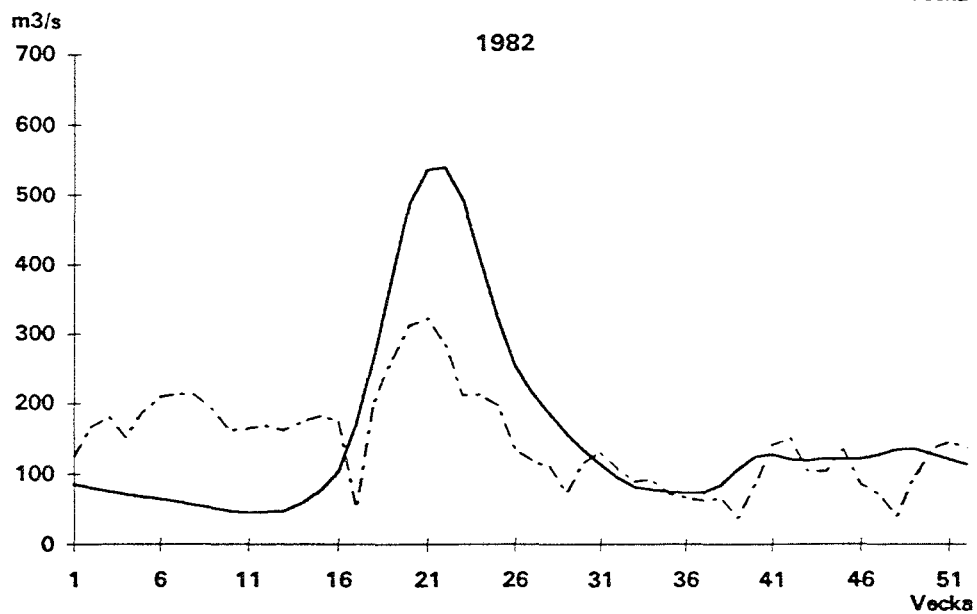
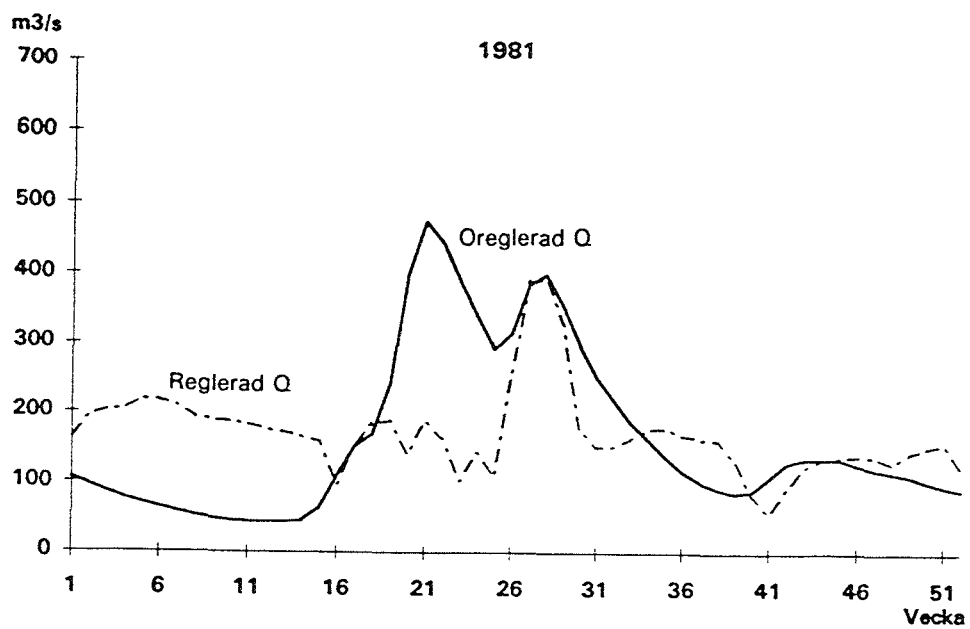
1240 IF M <= 1140 THEN Q=M*.017+24 : GOTO 1290
1250 IF M <= 2710 THEN Q=(M-1140)*.027+43 : GOTO 1290
1260 IF M <= 4330 THEN Q=(M-2710)*.0321+88 : GOTO 1290
1270 IF M <= 7700 THEN Q=(M-4330)*.0374+140 : GOTO 1290
1280 IF M > 7700 THEN Q=(M-7700)*.04468+270
1290 Q=INT(Q*100+1.5)/100
1300 RETURN
1310 !
1320 ! — LAGRING AV Q-ut (VATTENFÖRING) SKATTUNGEN I FIL—————
1330 PREPARE "OSOQ"+Ar$+".CB" AS FILE 2
1340 PUT #2,Yr$+CHR$(13)
1350 DIGITS 4
1360 FOR V=1 TO 52
1370  Osoq$=NUM$(Osoq(V))
1380  POSIT #2,V*5
1390  PUT #2,Osoq$+CHR$(13)
1400 NEXT V
1410 CLOSE 2
1420 CRT FRED
1430 RETURN
1440 !
1450 ! — LAGRING AV Q-in (TILLRINNING) SKATTUNGEN I FIL—————
1460 PREPARE "OSOT"+Ar$+".CB" AS FILE 3
1470 PUT #3,Yr$+CHR$(13)
1480 DIGITS 3
1490 FOR V=1 TO 52
1500  Sot$=NUM$(Sort(V))
1510  POSIT #3,V*5
1520  PUT #3,Sot$+CHR$(13)
1530 NEXT V
1540 CLOSE 3
1550 CRT FGREEN
1560 RETURN
1570 !
1580 !
1590 ! — LAGRING AV Q-ut (VATTENFÖRING) SILJAN I FIL—————
1600 PREPARE "OGRAQ"+Ar$+".CB" AS FILE 5
1610 PUT #5,Yr$+CHR$(13)
1620 DIGITS 3
1630 FOR V=1 TO 52
1640  Ograq$=NUM$(Ograq(V))
1650  POSIT #5,V*5
1660  PUT #5,Ograq$+CHR$(13)
1670 NEXT V
1680 CLOSE 5
1690 RETURN
1700 !
1710 ! —LAGRING AV Q-in (TILLRINNING) SILJAN I FIL—————
1720 PREPARE "OGRAT"+Ar$+".CB" AS FILE 6
1730 PUT #6,Yr$+CHR$(13)
1740 DIGITS 3
1750 FOR V=1 TO 52
1760  Ograt$=NUM$(Ograt(V))
1770  POSIT #6,V*5
1780  PUT #6,Ograt$+CHR$(13)
1790 NEXT V
1800 CLOSE 6
1810 CRT FYELLOW
1820 CRT FYELLOW
1830 RETURN

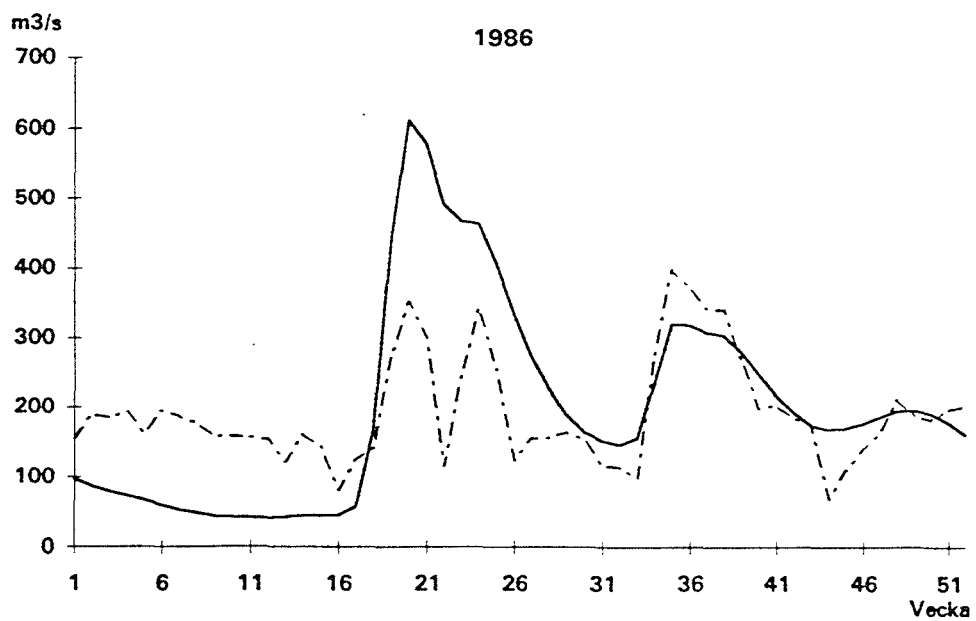
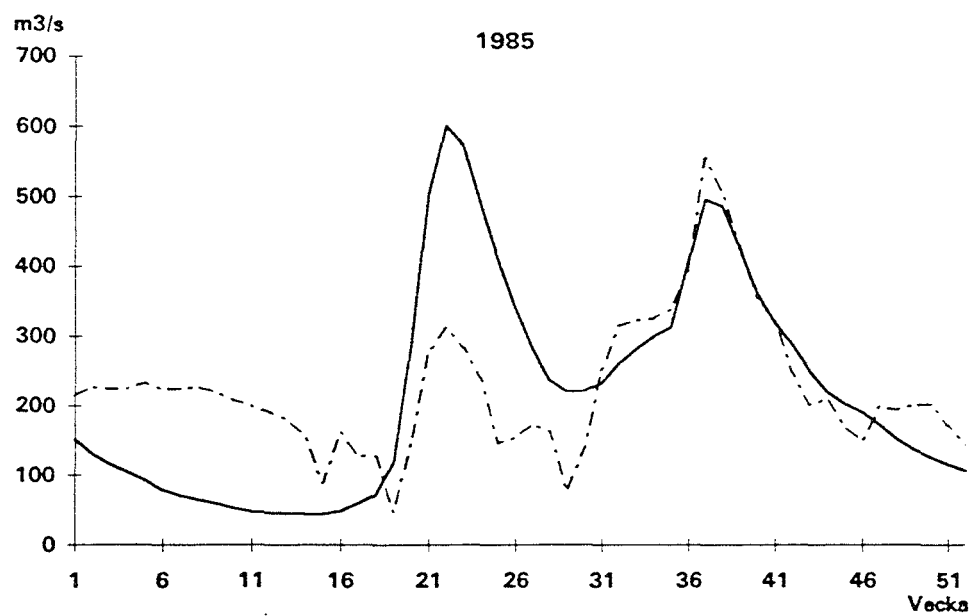
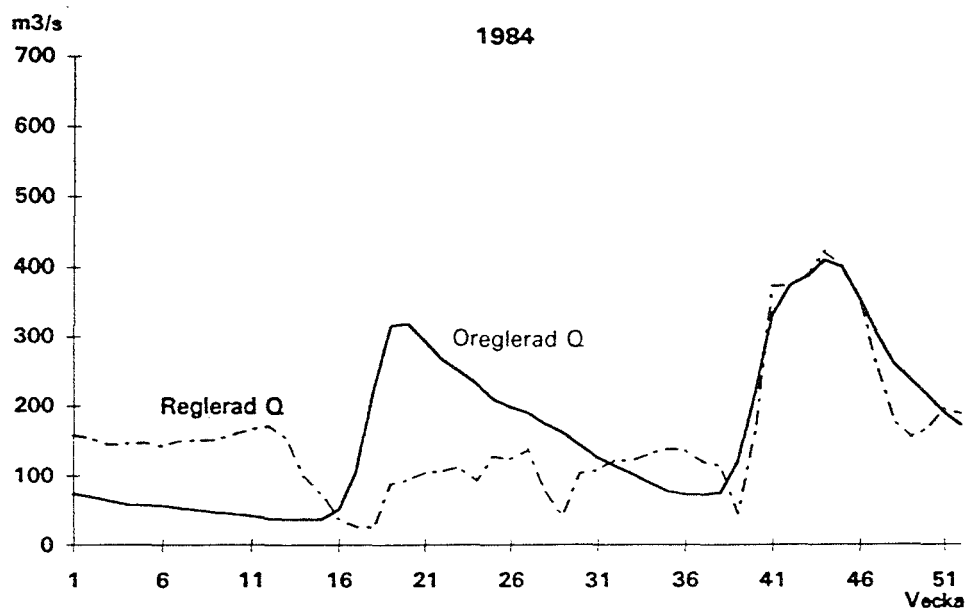
```

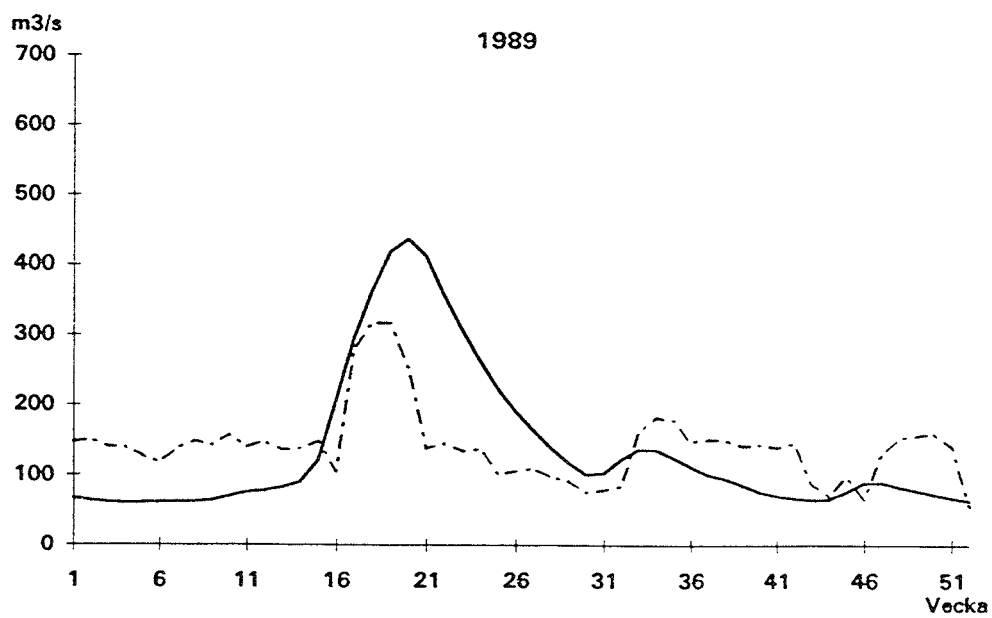
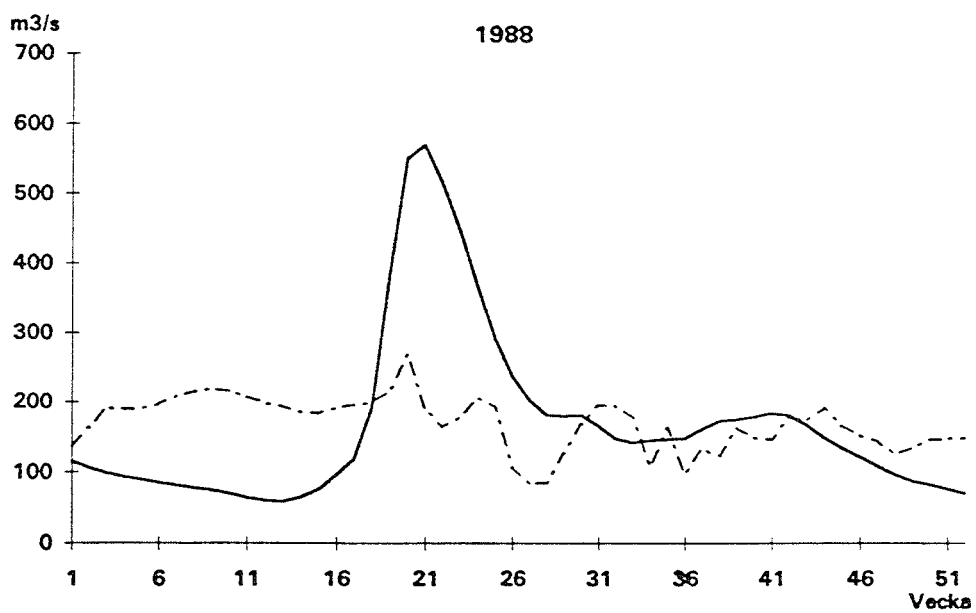
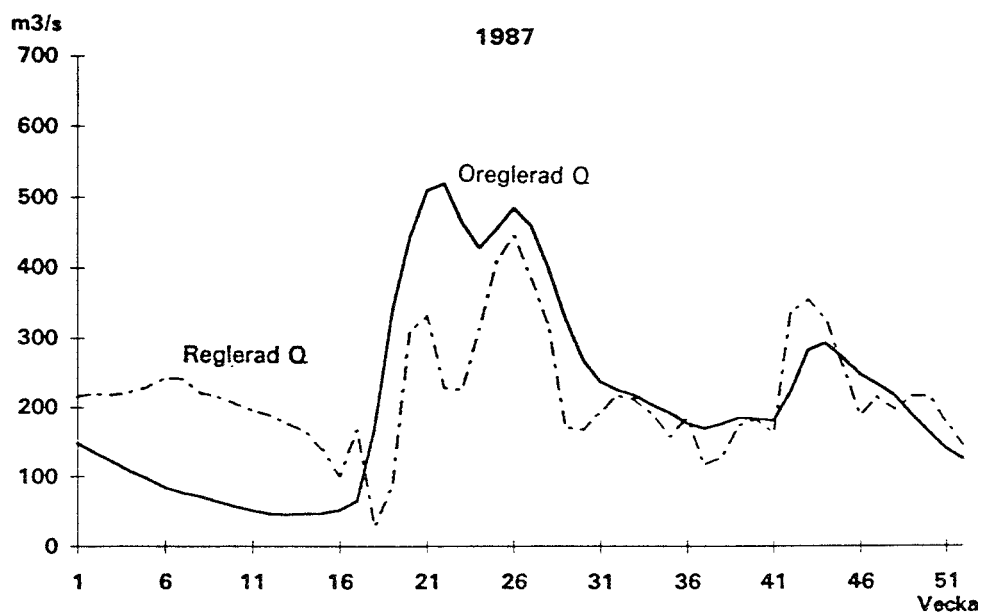
Bilaga III. Reglerad och oreglerad vattenföring i Österdalälven (Gråda) 1975-91

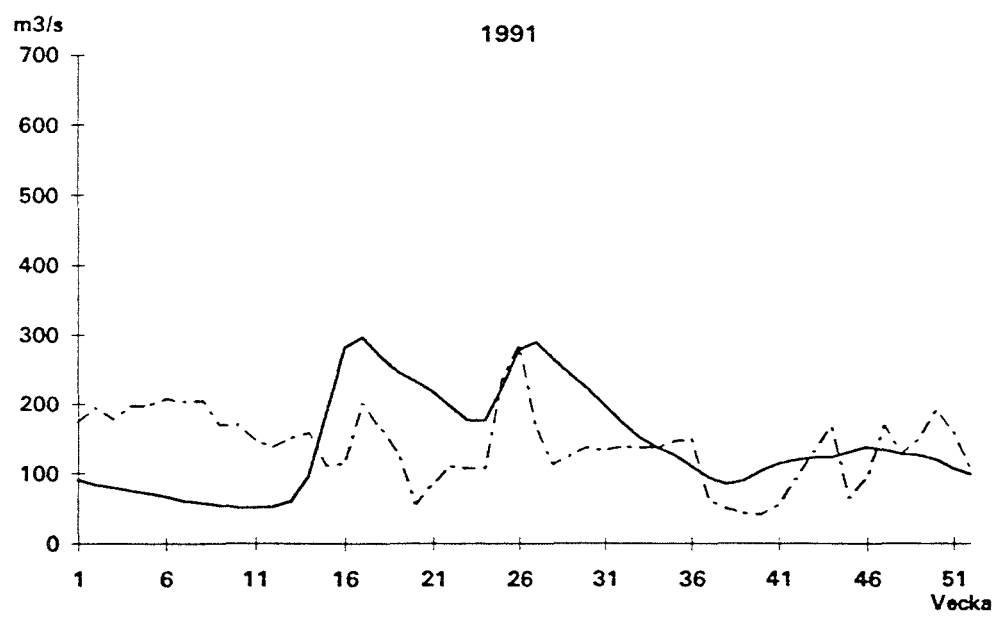
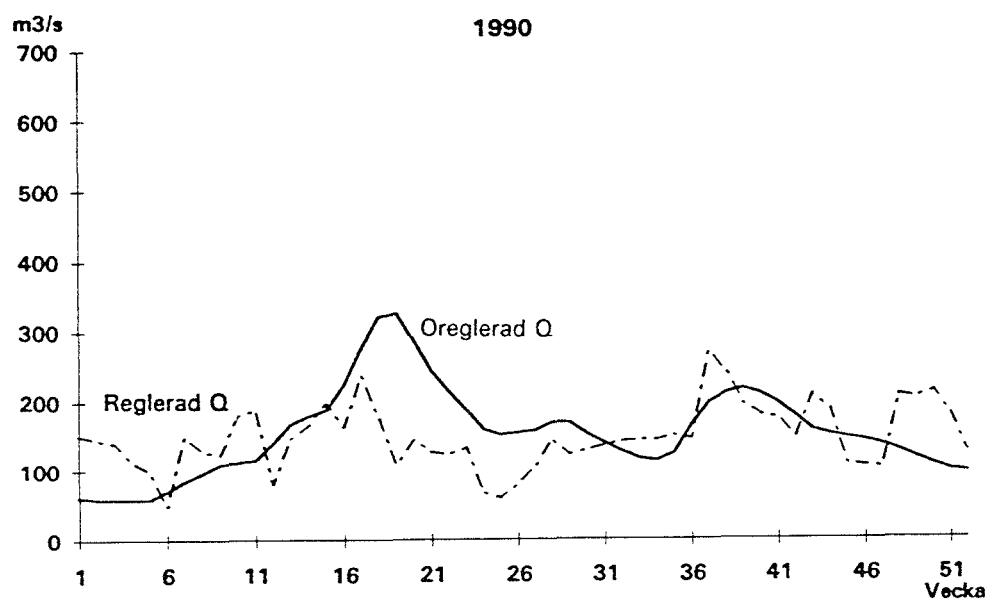












Bilaga IV. Nederbördstabell för Dalälvsområdet

| NEDERBÖRD HELA DALÄLVSOMRÅDET (mm) | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| ÅR | JAN | FEB | MAR | APR | MAJ | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEC | SUMMA |
| 1919 | 55 | 10 | 25 | 32 | 30 | 77 | 56 | 78 | 56 | 22 | 58 | 42 | 541 |
| 1920 | 59 | 34 | 35 | 75 | 66 | 59 | 102 | 141 | 71 | 6 | 16 | 27 | 691 |
| 1921 | 67 | 17 | 16 | 33 | 37 | 79 | 100 | 119 | 36 | 31 | 17 | 67 | 619 |
| 1922 | 34 | 22 | 35 | 48 | 32 | 51 | 89 | 123 | 55 | 9 | 21 | 46 | 565 |
| 1923 | 26 | 10 | 14 | 21 | 74 | 54 | 43 | 98 | 118 | 96 | 35 | 24 | 613 |
| 1924 | 42 | 34 | 46 | 31 | 86 | 86 | 137 | 96 | 81 | 70 | 24 | 36 | 769 |
| 1925 | 28 | 42 | 11 | 29 | 50 | 34 | 96 | 54 | 44 | 58 | 35 | 66 | 547 |
| 1926 | 41 | 26 | 12 | 20 | 98 | 63 | 86 | 61 | 81 | 51 | 87 | 31 | 657 |
| 1927 | 95 | 43 | 37 | 26 | 63 | 101 | 118 | 96 | 128 | 83 | 21 | 12 | 823 |
| 1928 | 46 | 32 | 34 | 17 | 35 | 71 | 65 | 126 | 42 | 70 | 69 | 25 | 632 |
| 1929 | 31 | 9 | 9 | 47 | 63 | 74 | 44 | 120 | 62 | 114 | 60 | 77 | 710 |
| 1930 | 49 | 17 | 19 | 32 | 64 | 63 | 107 | 69 | 67 | 57 | 70 | 64 | 678 |
| 1931 | 52 | 36 | 16 | 59 | 71 | 44 | 109 | 116 | 31 | 30 | 30 | 47 | 641 |
| 1932 | 21 | 11 | 18 | 47 | 57 | 58 | 61 | 48 | 73 | 77 | 69 | 24 | 564 |
| 1933 | 30 | 28 | 22 | 14 | 36 | 32 | 74 | 42 | 68 | 86 | 15 | 11 | 458 |
| 1934 | 33 | 44 | 54 | 39 | 41 | 51 | 108 | 117 | 96 | 63 | 66 | 79 | 791 |
| 1935 | 40 | 50 | 33 | 47 | 20 | 93 | 70 | 50 | 143 | 122 | 61 | 99 | 828 |
| 1936 | 98 | 18 | 17 | 52 | 34 | 45 | 102 | 88 | 35 | 34 | 55 | 36 | 614 |
| 1937 | 28 | 55 | 45 | 44 | 47 | 66 | 81 | 50 | 115 | 12 | 40 | 56 | 639 |
| 1938 | 46 | 18 | 21 | 26 | 42 | 74 | 146 | 57 | 100 | 86 | 62 | 56 | 734 |
| 1939 | 82 | 30 | 8 | 31 | 26 | 84 | 123 | 81 | 22 | 19 | 81 | 38 | 625 |
| 1940 | 19 | 19 | 42 | 31 | 21 | 32 | 107 | 123 | 78 | 48 | 68 | 20 | 608 |
| 1941 | 11 | 41 | 32 | 6 | 4 | 53 | 44 | 153 | 43 | 47 | 23 | 68 | 525 |
| 1942 | 24 | 27 | 7 | 16 | 50 | 82 | 48 | 53 | 55 | 72 | 51 | 45 | 530 |
| 1943 | 62 | 31 | 12 | 18 | 36 | 33 | 89 | 90 | 38 | 91 | 54 | 22 | 576 |
| 1944 | 54 | 16 | 30 | 31 | 69 | 122 | 67 | 65 | 159 | 52 | 119 | 88 | 872 |
| 1945 | 60 | 30 | 23 | 39 | 61 | 73 | 82 | 102 | 47 | 41 | 27 | 49 | 634 |
| 1946 | 21 | 37 | 27 | 37 | 32 | 138 | 34 | 91 | 117 | 17 | 69 | 53 | 673 |
| 1947 | 31 | 2 | 40 | 37 | 10 | 64 | 92 | 0 | 38 | 14 | 58 | 38 | 424 |
| 1948 | 67 | 19 | 25 | 33 | 69 | 63 | 73 | 100 | 81 | 50 | 22 | 33 | 635 |
| 1949 | 50 | 17 | 17 | 36 | 36 | 55 | 100 | 83 | 28 | 88 | 86 | 95 | 691 |
| 1950 | 46 | 34 | 11 | 83 | 43 | 76 | 99 | 58 | 99 | 44 | 85 | 44 | 722 |
| 1951 | 44 | 62 | 36 | 47 | 15 | 85 | 43 | 158 | 38 | 9 | 71 | 45 | 653 |
| 1952 | 25 | 25 | 16 | 48 | 37 | 85 | 64 | 87 | 41 | 56 | 40 | 56 | 580 |
| 1953 | 33 | 30 | 6 | 65 | 50 | 89 | 174 | 76 | 67 | 30 | 35 | 26 | 681 |
| 1954 | 37 | 29 | 34 | 21 | 45 | 76 | 109 | 86 | 113 | 68 | 58 | 75 | 751 |
| 1955 | 28 | 23 | 4 | 13 | 66 | 36 | 38 | 44 | 62 | 64 | 29 | 62 | 469 |
| 1956 | 60 | 26 | 13 | 19 | 14 | 113 | 70 | 102 | 62 | 28 | 23 | 38 | 568 |
| 1957 | 21 | 53 | 28 | 27 | 29 | 78 | 143 | 142 | 124 | 52 | 40 | 8 | 745 |
| 1958 | 34 | 29 | 19 | 21 | 70 | 62 | 75 | 98 | 38 | 48 | 56 | 69 | 619 |
| 1959 | 85 | 2 | 31 | 58 | 41 | 21 | 47 | 27 | 21 | 77 | 68 | 90 | 568 |
| 1960 | 52 | 36 | 12 | 23 | 43 | 81 | 111 | 140 | 51 | 60 | 114 | 46 | 769 |
| 1961 | 39 | 27 | 20 | 20 | 60 | 70 | 96 | 123 | 50 | 88 | 56 | 42 | 691 |
| 1962 | 52 | 36 | 37 | 41 | 64 | 44 | 79 | 87 | 53 | 34 | 22 | 39 | 588 |
| 1963 | 8 | 13 | 14 | 40 | 53 | 85 | 76 | 117 | 54 | 69 | 82 | 13 | 624 |
| 1964 | 8 | 28 | 1 | 16 | 24 | 85 | 87 | 75 | 80 | 101 | 37 | 58 | 600 |
| 1965 | 76 | 18 | 19 | 52 | 24 | 77 | 131 | 54 | 142 | 19 | 48 | 70 | 730 |
| 1966 | 39 | 62 | 56 | 47 | 34 | 22 | 101 | 126 | 52 | 61 | 63 | 116 | 779 |
| 1967 | 42 | 49 | 47 | 27 | 77 | 38 | 50 | 114 | 66 | 104 | 64 | 54 | 732 |
| 1968 | 36 | 30 | 43 | 25 | 78 | 58 | 46 | 65 | 50 | 97 | 61 | 41 | 630 |
| 1969 | 64 | 32 | 18 | 50 | 33 | 18 | 84 | 62 | 79 | 18 | 74 | 24 | 556 |
| 1970 | 22 | 14 | 52 | 67 | 37 | 31 | 142 | 32 | 65 | 87 | 82 | 16 | 647 |
| 1971 | 49 | 31 | 41 | 23 | 34 | 41 | 84 | 83 | 50 | 37 | 56 | 30 | 559 |
| 1972 | 31 | 30 | 30 | 44 | 56 | 59 | 86 | 42 | 43 | 29 | 51 | 37 | 538 |
| 1973 | 18 | 39 | 10 | 54 | 86 | 39 | 194 | 51 | 59 | 13 | 29 | 55 | 647 |
| 1974 | 48 | 38 | 18 | 4 | 33 | 56 | 107 | 56 | 102 | 76 | 83 | 52 | 673 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1975 | 65 | 12 | 20 | 28 | 45 | 35 | 62 | 47 | 103 | 36 | 35 | 25 | 513 |
| 1976 | 36 | 18 | 10 | 16 | 24 | 40 | 44 | 50 | 67 | 50 | 80 | 75 | 510 |
| 1977 | 84 | 29 | 28 | 73 | 51 | 82 | 81 | 55 | 50 | 56 | 80 | 34 | 703 |
| 1978 | 49 | 21 | 51 | 19 | 25 | 50 | 54 | 79 | 64 | 18 | 45 | 19 | 494 |
| 1979 | 31 | 17 | 52 | 61 | 61 | 48 | 114 | 102 | 53 | 45 | 87 | 46 | 717 |
| 1980 | 18 | 12 | 26 | 21 | 41 | 134 | 53 | 101 | 58 | 132 | 57 | 43 | 696 |
| 1981 | 22 | 23 | 62 | 18 | 47 | 166 | 64 | 30 | 40 | 101 | 92 | 39 | 704 |
| 1982 | 34 | 35 | 47 | 42 | 75 | 16 | 62 | 86 | 103 | 36 | 84 | 44 | 664 |
| 1983 | 43 | 8 | 30 | 50 | 96 | 68 | 34 | 27 | 162 | 50 | 12 | 44 | 624 |
| 1984 | 54 | 37 | 29 | 12 | 45 | 104 | 50 | 44 | 122 | 164 | 49 | 44 | 754 |
| 1985 | 54 | 27 | 43 | 64 | 42 | 66 | 124 | 136 | 129 | 32 | 49 | 65 | 831 |
| 1986 | 61 | 5 | 48 | 62 | 38 | 91 | 92 | 163 | 64 | 34 | 65 | 89 | 812 |
| 1987 | 16 | 35 | 50 | 22 | 88 | 143 | 55 | 92 | 79 | 103 | 61 | 27 | 771 |
| 1988 | 67 | 72 | 41 | 35 | 34 | 47 | 106 | 88 | 78 | 52 | 14 | 40 | 674 |
| 1989 | 16 | 63 | 53 | 84 | 42 | 56 | 60 | 86 | 25 | 34 | 37 | 34 | 590 |
| 1990 | 66 | 55 | 24 | 78 | 28 | 87 | 90 | 67 | 108 | 44 | 43 | 39 | 729 |
| 1991 | 44 | 16 | 39 | 20 | 27 | 148 | 57 | 56 | 69 | 39 | 49 | 22 | 586 |
| 19-91 | 43 | 29 | 28 | 37 | 47 | 68 | 85 | 84 | 72 | 56 | 54 | 47 | 649 |
| MAX | 98 | 72 | 62 | 84 | 98 | 166 | 194 | 163 | 162 | 164 | 119 | 116 | 1498 |
| MIN | 8 | 2 | 1 | 4 | 4 | 16 | 34 | 0 | 21 | 6 | 12 | 8 | 116 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 82-91 | 46 | 35 | 40 | 47 | 52 | 83 | 73 | 85 | 94 | 59 | 46 | 45 | 704 |
| MAX | 67 | 72 | 53 | 84 | 96 | 148 | 124 | 163 | 162 | 164 | 84 | 89 | 1306 |
| MIN | 16 | 5 | 24 | 12 | 27 | 16 | 34 | 27 | 25 | 32 | 12 | 22 | 252 |

Bilaga V. Regleringsvinstresultat för Österdalälven och dess delsträckor

ENERGIVINST OCH REGLERINGSKOSTNAD FÖR ÖSTERDALÄLVEN OCH DESS DELSTRÄCKOR

| | REGLERAT | | OREGLERAT | |
|--|--|--|--|---|
| | Produktion | Spill | Produktion | Spill |
| Trängslet till Åsen (1984-91) | 25812 DE 700 GWh 141 Mkr | 13 DE 0.35 GWh 0.04 Mkr | | |
| | Regleringsvinst, energi: värde: | 700 GWh/år 141 Mkr/år | Anläggningskostnad: Driftskostnad: Summa kostnader T + Å: | 2.5 Mkr/år 1.8 Mkr/år 4.4 Mkr/år |
| Åsen till Gråda (1984-91) | 26154 DE 388 GWh 73 Mkr | 771 DE 11 GWh 1.6 Mkr | 22083 DE 323 GWh 53 Mkr | 5146 DE 76 GWh 10 Mkr |
| | Regleringsvinst, energi: värde: varav vinst minskat spill: | 65 GWh/år 20 Mkr/år 8.4 Mkr/år | Kostnaderna ingår i Trängslet. | |
| Vässinjärvi till Skattungbyn | Regleringsvinst, energi: värde: | 28 GWh/år 6.5 Mkr/år | Summa kostnader: | 0.3 Mkr/år |
| Skattungbyn till Gråda (1975-91) | 6518 DE 33 GWh 6.0 Mkr | 2129 DE 11 GWh 1.5 Mkr | 5379 DE 27 GWh 4.6 Mkr | 3281 DE 17 GWh 2.3 Mkr |
| | Regleringsvinst, energi: värde: varav vinst minskat spill: | 5.5 GWh/år 1.4 Mkr/år 0.8 Mkr/år | Anläggningskostnad: Driftskostnad ovan Skattu.: Summa kostnader: | försumbar 0.5 Mkr/år 0.5 Mkr/år |
| Småsjöar ovan Gråda (962 DE) till havet | Regleringsvinst, energi: värde: | 2.5 GWh/år 0.6 Mkr/år | Kostnaderna ingår i ovan nämnda sjöar, förutom brukssjöersättn. om ca. 0.13 Mkr/år. | |
| Gråda till havet (1975-91) | 53850 DE 1714 GWh 312 Mkr | 2429 DE 77 GWh 11 Mkr | 48853 DE 1550 GWh 261 Mkr | 7600 DE 241 GWh 31 Mkr |
| | Regleringsvinst, energi: värde: varav vinst minskat spill: | 164 GWh/år 51 Mkr/år 20 Mkr/år | Anläggn.kost. ovan Gråda: Driftskostnad ovan Gråda: Summa kostnader: | 5.1 Mkr/år 6.0 Mkr/år 11.0 Mkr/år |

EFFEKTVINST FÖR ÖSTERDALÄLVEN OCH DESS DELSTRÄCKOR

| | Reglerat | Oreglerat | Vinst | |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Trängslet till Gråda | 81.9 m3/s 144 MW 21.6 Mkr | 30.1 m3/s 52.9 MW 8.0 Mkr | 51.8 m3/s 91.1 MW 13.6 Mkr | Vinter Q-medel Effekt Värde |
| Vässinjärvi till Skattungbyn | | | 4.5 m3/s 6.4 MW 1.0 Mkr | |
| Skattungbyn till Gråda | 17.4 m3/s 3.7 MW 0.6 Mkr | 10.0 m3/s 2.1 MW 0.3 Mkr | 7.4 m3/s 1.6 MW 0.3 Mkr | |
| Småsjöar ovan Gråda (962 DE) till Gråda | | | 6.7 m3/s 1.2 MW 0.2 Mkr | |
| Gråda till havet | 154.7 m3/s 203.5 MW 30.5 Mkr | 88.8 m3/s 116.8 MW 17.5 Mkr | 65.9 m3/s 86.7 MW 13.0 Mkr | |

TOTAL REGLERINGSVINST ÖSTERDALÄLVEN

| | Reglerat | Oreglerat | Vinst |
|-----------------|----------|-----------|-------|
| Produktion | | | |
| energi (GWh/år) | 2866 | 1990 | 966 |
| värde (Mkr/år) | 539 | 319 | 220 |
| effekt (MW/år) | 496 | 281 | 215 |
| värde (Mkr/år) | 74 | 42 | 32 |
| Spill | | | |
| energi (GWh/år) | 99 | 334 | 235 |
| värde (Mkr/år) | 14 | 43 | 29 |

S:a kostnader reglering: 11 Mkr/år

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1990

- 90:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1989 års fältförsök avseende detaljavvattningsmarkvård och markförbättring samt bevattning. 73 s.
- 90:2 Jansson, P.-E. (ed.). The Skogaby Project. Project description. 77 s.
- 90:3 Berglund, K., Lindberg, K. & Peltomaa, R. Alternativa dräneringsmetoder på jordar med låg genomsläpplighet. 1. Ett nordiskt samarbetsprojekt inom Nordkalottområdet. 20 s.
- 91:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1990 års fältförsök avseende detaljavvattningsmarkvård och markförbättring samt bevattning. 92 s.
- 91:2 Persson, R. & Wesström, I. Markkemiska effekter av bevattning med Östersjövatten på Öland. 23 s + 5 bil.
- 91:3 Eckersten, H. WIGO model. User's manual. 30 s.
- 91:4 Eckersten, H. SPAC-GROWTH model. User's manual. 32 s.
- 91:5 Stenlund, S. Rainwater harvesting - Metoder för uppsamling av regnvatten för bevattning. En litteraturöversikt. 24 s.
- 91:6 Jansson, P.-E., Eckersten, H. & Johnsson, H. SOILN model. User's manual. 49 s.
- 91:7 Jansson, P.-E. SOIL model. User's manual. 59 s.
- 91:8 Wesström, I. Liste des publications du sujet "Besoin en eau des plantes et irrigation en climat semi-aride". 32 s.
- 92:1 Rockström, J. Framtidens livsmedelsförsörjning i världens torra regioner: Begränsas den av tillgången på vatten? 106 s.
- 92:2 Kerje, T. Erosionsmätningar i Nicaragua. 35 s.
- 92:3 Burujeny, M. B. Dygnsvariation i bladvattenpotential hos raps och senap. Mätningar och simuleringar. 27 s.
- 92:4 Simonsson, M. Rotstudier i några olika ärtsorter. 15 s.
- 92:5 Malm, P. Spridning av flytgödsel med bevattningsmaskin försedd med lågspridningsramp. 46 s.
- 92:6 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1991 års fältförsök avseende detaljavvattningsmarkvård och markförbättring samt bevattning. 105 s.
- 93:1 Jansson, C. Rekonstruktion av naturlig vattenförling i Österdalälven och värdering av regleringsnytta. 30 s + 5 bil.

